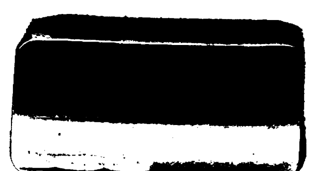




ÜBER DEN ZUG UND DIE KONTROLLE

DER

DAMPFKESSEL-FEUERUNGEN

VON

ED. DONATH,

PROFESSOR DER CHEMISCHEN TECHNOLOGIE AN DER K. K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE
IN BRÜNN.

MIT 41 ABBILDUNGEN.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1902.

Verlags-Nr. 836.

Druck von Rudolf M. Rohrer in Brünn.

Vorwort.

Fast jeder Fabrikschemiker hat neben dem eigentlichen Fabriksbetriebe auch mit einer Dampfkesselfeuerung zu tun und in manchen chemischen Industrien spielt die Dampferzeugung eine so wichtige Rolle, daß er der Ökonomik derselben fast eine ebenso große Aufmerksamkeit zuwenden muß wie dem eigentlichen technologischen Prozeß. Ein sehr wichtiges Moment einer Dampfkesselfeuerung und im allgemeinen einer jeden Feuerungsanlage ist die Zugerzeugung und Zugregulierung. Da aber dieses Kapitel selbst in den ausführlichsten, für technische Chemiker bestimmten Lehrbüchern der chemischen Technologie doch etwas zu dürftig und auch nur in wenigen einschlägigen Werken des Maschinenbaues zusammenfassender behandelt wird, so habe ich mich entschlossen, im Vorliegenden mit besonderer Berücksichtigung des Umstandes, daß die Zugerzeugung auf mechanischem Wege gegenwärtig Gegenstand einer mannigfachen Diskussion geworden ist, einen Überblick über dieses Kapitel samt der damit zusammenhängenden Kontrolle des Feuerungsbetriebes zu geben, wobei ich sowohl die in der Literatur veröffentlichten Mitteilungen, sowie die mir persönlich darüber mitgeteilten Ansichten und Urteile kompetenter Maschineningenieure, als auch meine eigenen in dieser Richtung gemachten Wahrnehmungen verwertet habe. Vielleicht dürfte nun vorliegende Bearbeitung dieses Gegenstandes auch den Maschinen-Ingenieuren selbst nicht unerwünscht sein.

Ich erfülle schließlich eine angenehme Pflicht, indem ich Herrn Ingenieur Karl Neumann, Inspektor der Wiener Dampfkesseluntersuchungs- und Versicherungsgesellschaft in Brünn für manche schätzbare Mitteilungen meinen besten Dank abstatte.

Brünn, im März 1902.

Ed. Donath.



Bei einer jeden Feuerung müssen die Verbrennungsprodukte, nachdem sie ihre Wärme zum Zwecke der Dampfentwickelung oder zu anderen Zwecken abgegeben haben, aus dem Feuerungsraume abgesaugt werden, damit frische Verbrennungsluft zu dem Brennstoff hinzutreten und den Verbrennungsprozeß unterhalten kann. Diese miteinander verbundene Bewegung, das Abströmen der Verbrennungsprodukte und das Zuströmen der Verbrennungsluft, wird als Zug bezeichnet. Bekanntlich findet bei allen primären (nicht entgasten Brennstoffen), wenn dieselben in den ausgeheizten Verbrennungsraum gelangen, zuerst eine Entgasung statt, d. h. eine Entwickelung flüchtiger Gase und Dämpfe, darunter insbesondere Kohlenwasserstoffe verschiedener Zusammensetzung, welche in diesem Zustande verbrennen. Nach dieser Entgasung erfolgt erst die Verbrennung des hocherhitzten, mehr oder minder kohlenstoffreichen Entgasungsrückstandes. Da die Entgasungsprodukte an Wasserstoff reicher sind, der Wasserstoff bekanntlich das achtfache Gewicht an Sauerstoff zur Verbrennnung benötigt, entsprechend 34·3 *kg* Luft pro Kilo Wasserstoff, der entgaste, glühende Rückstand aber vorzugsweise aus Kohlenstoff besteht, von dem ein Gewichtsteil $\frac{32}{12} = 2{\cdot}66$ Gewichtsteile Sauerstoff entsprechend 11·4 *kg* Luft, zur Verbrennung erfordert, so ersieht man, daß die Menge der notwendigerweise zutretenden Verbrennungsluft während der Entgasung des Brennstoffes eine bedeutend größere sein muß als bei der Verbrennung des Entgasungsrückstandes. Ein Überschuß an Luft über das theoretische Quantum ist bekanntlich bei keiner Feuerung zu vermeiden. Je geringer dieser Überschuß jedoch ist bei möglichst vollständiger Verbrennung, ein desto kleineres Luftquantum hat man unnotwendigerweise zu erwärmen, desto besser kann aus bekannten Gründen die erzeugte Wärme in der Feuerungsanlage ausgenützt werden, desto ökonomischer ist also bekanntlich aus mehrfachen Gründen die Feuerung. Es ergibt sich daraus, daß eine rationelle Verbrennung nicht nur die Hervorbringung des Zuges, sondern auch die Regulierung des Zuges während der Verbrennungsphasen notwendig macht.[1])

[1]) Hörenz (dessen Prospekt: Theorie und Praxis der Luftüberschußbeseitiger etc.) unterscheidet bei Planrosten und allen periodisch beschickten Feuerungen drei Hauptstadien:

1. Das erste Stadium dauert so lange die frisch nachgelegte Kohle in voller oder großer Flamme ist. Er nennt dieses Stadium Großfeuer.

Wir wollen nun in folgendem die verschiedenen Methoden der Erzeugung des Zuges, seine Messung und Regulierung und schließlich die aus den theoretischen Beziehungen und der Erfahrung sich ergebenden Regeln für die Praxis sowie die damit zusammenhängende Kontrolle des Feuerungsbetriebes besprechen.

Die Erzeugung des Zuges kann bekanntlich auf mehrfache Weise erfolgen. Entweder indem man durch das Aufsteigen der heißen Verbrennungsprodukte in einem Essenkanal dieselben abströmen läßt, wodurch von selbst bekannten physikalischen Gesetzen gemäß frische Verbrennungsluft auf der anderen Seite der Feuerung eintreten muß; dies ist der sogenannte natürliche oder Essenzug, oder indem die Entfernung der Verbrennungsprodukte, beziehungsweise die Zufuhr der Luft auf mechanische Weise bewerkstelligt wird; dies ist der künstliche oder mechanische Zug.

Die Zugkraft der Esse drückt man aus durch die Menge der in einer Sekunde durch dieselbe hindurchgesaugten Luft. Bezeichnet man dieselbe mit Q,[1]) die Geschwindigkeit der Luft in der Esse mit v, den Querschnitt der Esse mit s, das Volumgewicht der Luft bei der Essentemperatur mit d_1, so ist:

$$Q = vsd_1.$$

Die Geschwindigkeit v ist, wie bei Flüssigkeiten $v = \sqrt{2gh}$. In der Hydrostatik bezeichnet man mit h die Druckhöhe, mit g die Beschleunigung durch die Schwere. Im vorliegenden Falle ist die Druckhöhe h gleich der Höhe der Luftsäule, um welche eine außerhalb der Esse befindliche kalte Luftsäule von der Höhe der Esse wachsen würde, wenn sie auf

---

2. Das zweite Stadium beginnt, wenn die volle oder große Flamme anfängt kleiner zu werden und die Kohle anfängt niederzubrennen. Dieses Stadium nennt er Mittelfeuer.

3. Das dritte Stadium beginnt, wenn die brennende Kohle anfängt, fast ohne oder mit ganz kleiner Flamme in der Glut zu stehen. Dieses Stadium wird als Glühfeuer bezeichnet.

Entsprechend diesen drei Stadien der Verbrennung unterscheidet er auch drei Arten des Feuerungsbetriebes:

1. „Überangestrengter Betrieb!" Bei diesem muß schon frische Kohle nachgelegt werden, wenn die verbrennende Kohle am Ende des Stadiums des Großfeuers ist.

2. „Mittlerer Betrieb!" Bei diesem muß erst Kohle nachgelegt werden, wenn das Stadium des Großfeuers vorüber ist, und die brennende Kohle im Stadium des Mittelfeuers sich befindet.

3. „Nichtangestrengter Betrieb!" Bei diesem muß erst Kohle nachgelegt werden, wenn die Stadien des Groß- und Mittelfeuers vorüber sind und die brennende Kohle sich im Stadium des Glühfeuers befindet. Bei wechselndem oder ungleichmäßigem Dampfverbrauche werden alle drei Arten von Betrieben durcheinander vorkommen, je nachdem gerade Dampf gebraucht wird.

[1]) Siehe Schnabel, allgemeine Hüttenkunde. Toldt, Regenerativ-Gasöfen etc.

die Temperatur der Luftsäule in der Esse erhitzt würde. Bezeichnet man die kalte Luftsäule von der Höhe der Esse mit L, den Ausdehnungskoeffizienten der Luft bei der Erhitzung um 1^0 C. mit α (bekanntlich beträgt die Ausdehnung der Luft für jeden Grad Celsius $^1/_{273} = 0{\cdot}00366$ ihres Volumens bei $\varnothing^0$), die Temperatur in der Esse mit t', die Temperatur der kalten Luftsäule außerhalb der Esse mit t, so besteht die Proportion:

$$L:h = (1+\alpha t):\alpha(t'-t)$$

woraus

$$h = \frac{L\alpha(t'-t)}{1+\alpha t}.$$

Nun ist das Produkt αt (Temperatur der Luft außerhalb der Esse multipliziert mit 0·00366) sehr klein und kann deshalb vernachlässigt werden, so daß man erhält:

$$h = \alpha L(t'-t).$$

Bei Einsetzung dieses Wertes in die Formel $v = \sqrt{2gh}$ ist:

$$v = \sqrt{2g\alpha L(t'-t)}.$$

Bezeichnet man das Volumgewicht der Luft bei $\varnothing^0$ mit d_0, die Temperatur derselben in der Esse mit t', so ergibt sich das Volumgewicht der Luft bei der Temperatur der Esse d_1 durch eine einfache Rechnung:

$$d_1 = \frac{d_0}{1+\alpha t'}.$$

Bei Einsetzung der Werte für v und d_1 in die obige Formel

$$Q = vsd_1,$$

erhält man:

$$Q = sd_0\,\frac{\sqrt{2g\alpha L(t'-t)}}{1+\alpha t'};$$

bezeichnet man in dieser Formel $sd_0\sqrt{2g\alpha}$ mit K, so ist:

$$Q = K.\frac{\sqrt{L(t'-t)}}{1+\alpha t')}.$$ [1])

Es ergibt sich daraus, dass die Zugkraft der Esse nur im Verhältnis der Quadratwurzel der Essenhöhe, also in einem ungünstigen Verhältnis wächst. Besitzt eine Esse bei einer bestimmten Höhe einen Zug von einer ge-

[1]) Ich habe mich hier begnügt, nur die einfachste Formel für die Saugkraft der Esse nach den vorher genannten Werken zu geben, soweit es im speziell vorliegenden Falle bloß zum Verständnis ihrer Wirkung notwendig ist. Über nähere für die Praxis wichtige Momente sowie konstruktive Details siehe die später mehrfach zitierten Werke v. Reiches und Fr. Toldts und andere.

wissen Größe, so wird eine doppelt so hohe Esse nur einen $1{\cdot}4 = \sqrt{2}$fachen eine dreimal so hohe Esse $1{\cdot}73 = \sqrt{3}$fachen Zug besitzen und man wird, um den Zug zu verdoppeln oder zu verdreifachen, eine viermal beziehungsweise neunmal so große Höhe geben müssen. Da aber die Reibung mit der Essenhöhe direkt wächst (insbesonders da die Esse aus mehrfachen Gründen nach oben zu sich verjüngen soll) so wird die Zunahme des Essenzuges bei einer gewissen Höhe durch die Reibung paralysiert, so daß über diese hinaus eine wesentliche Leistung der Esse nicht mehr zu verzeichnen ist. Erfahrungsgemäß liegt diese Grenze bei einer Essenhöhe von ungefähr 50—60 *m*, welche bei bloß saugend wirkenden Essen deshalb wohl nicht überschritten, in vielen Fällen gar nicht erreicht wird.[1]) Die Saugwirkung wächst ferner mit der Größe $\frac{\sqrt{t'-t}}{1+\alpha t'}$. In diesem Ausdruck wächst der Nenner schneller wie der Zähler, so daß er bald ein Maximum erreicht; rechnerisch läßt sich nun nachweisen, daß dasselbe $t = 0$ gesetzt erreicht wird, wenn $1 + \alpha t' = 2\alpha(t' - t)$ daraus resultiert $t' = 2t + \frac{1}{\alpha}$ und da $1/\alpha = 273$ so wird t' als Maximum gleich 273^0,

bei $t' = 100^0$	wird der Ausdruck	$\frac{\sqrt{t'-t}}{1+\alpha t'}$	$= 7{\cdot}4$
„ $t' = 200^0$	„ „ „	„	$= 8{\cdot}16$
„ $t' = \underline{273^0}$	„ „ „	„	$= \underline{8{\cdot}255}$
„ $t' = 300^0$	„ „ „	„	$= 8{\cdot}251$
„ $t' = 400^0$	„ „ „	„	$= 8{\cdot}110$
„ $t' = 500^0$	„ „ „	„	$= 7{\cdot}88$
„ $t' = \infty$	„ „ „	„	$= 0$
„ $t' = 0$	„ „ „	„	$= 0$

Es ergibt sich daraus, daß schon bei einer Temperatur der abziehenden Gase von 100^0 der Essenzug ein relativ lebhafter wird und dass es kaum vorteilhaft ist, die Verbrennungsprodukte wärmer als 200^0 in die Esse gelangen zu lassen.

In vielen Fällen ist jedoch eine so weitgehende Ausnützung der latenten Wärme der Rauchgase, daß dieselben sich bis auf 200^0 abkühlen, entweder mit Schwierigkeiten verknüpft oder selbst direkt zu wenig ökonomisch, so daß die Rauchgase mit noch höheren Temperaturen durch den Fuchs abströmen gelassen werden müssen.

[1]) Höhere Essen bis 140 *m* und vielleicht darüber baut man nur als Ventilationsessen, um schädliche Gase behufs größerer Verdünnung in höhere Luftschichten abzuführen.

Die Vermehrung der Zugkraft durch Erhöhung der Essengastemperatur kann unter gewissen Bedingungen nur bis zu einer gewissen Grenze gefördert werden, bei welcher die Zunahme der Zugkraft und dementsprechend der Geschwindigkeit der Bewegung der Gase mehr als ausgeglichen wird durch die Abnahme der Dichte derselben; wird dieser Grenzwert überschritten, sind die Gase noch heißer, dann wird das Gewicht der in einer bestimmten Zeit durchgesaugten Gase sogar abnehmen.

Ist der Widerstand gegen die Bewegung des Gasstromes auf dem Roste sehr klein, so wird das Maximum des Zuges dann erreicht, wenn die Dichte der Essengase halb so groß wie jene der Außenluft. Bekanntlich gilt für die d_1 bei der Temperatur t_1, $d_1 = d_0 \frac{1}{(1 + \alpha t_1)}$, wenn d_0 die Dichte bei 0° ist, und wenn man in diesen Wert die wie oben angegebene günstigste Essentemperatur von 273° einsetzt, so erhält man:

$$d_1 = d_0 \frac{1}{(1 + \frac{1}{273} \cdot 273)} = \frac{1}{2} d_0.$$

Aus diesen Verhältnissen erklären sich zum Teil auch die Ergebnisse der sehr wertvollen Untersuchungen, welche F. **Krauß** über den Einfluß der Essengastemperaturen auf die Leistung des Schornsteines hinsichtlich der geförderten Gasmengen (dem Gewichte nach) angestellt hat (Zeitschrift der Wiener Dampfkessel-Untersuchungsgesellschaft, 1896, S. 145). Aus den von ihm zusammengestellten Beziehungen zwischen der Geschwindigkeit der Gase, der Zugstärke der beförderten Gasmenge und der Essengastemperatur ist ersichtlich, daß eine infolge höherer Gastemperatur wachsende Zugstärke des Kamines keineswegs die Verfeuerung einer größeren Kohlenmenge auf dem Roste ermöglicht. Für die zuvor angenommene Schornsteinhöhe von 30 *m* ergeben sich folgende Werte:

Temperatur der Essengase °C.	250	300	350	400	500
Gasgeschwindigkeit . . . . *m/sek*	21·5	23·7	25·7	27·7	31·1
Zugstärke in Millimeter Wassersäule, gemessen am Schornsteine	16·0	17·8	19·2	20·5	22·6
Gasmenge . . . . *kg/sek*	14·6	14·7	14·7	14·6	14·3

Ein gegebener Schornstein kann daher nur eine ganz bestimmte Gasmenge befördern und ein nicht überschreitbares Gewicht an Kohle auf der zugehörigen Rostfläche verfeuern lassen.

Wenn der Widerstand des Rostes einen wesentlichen Betrag des Gesammtwiderstandes bildet, dann tritt das Maximum der Saugwirkung allerdings erst bei einer noch entsprechend höheren Temperatur ein. Eine weitere Erhöhung der Temperatur über diesen Grenzwert bringt, wie schon erwähnt, keinen Vorteil; hinsichtlich des thermischen Wirkungsgrades ist es sogar günstiger mit niedrigerer Temperatur zu arbeiten, weil infolgedessen auch weniger Wärme mit den Essengasen abzieht. — Wie durch die Kesselpraxis und zahlreiche einschlägige Messungen und Beobachtungen festgestellt, ist der größte zu überwindende Widerstand jener, welchen der beschickte Rost sowie bei Röhrenkesseln die Röhren selbst hervorrufen und dies ist fast durchgehends der Fall, während die Hervorbringung der Geschwindigkeit nur einen verhältnismäßig geringen Teil der Zugkraft beansprucht. Professor Galc[1]) hat bei einem gewöhnlichen stationären Röhrenkessel folgende Pressungen in Millimeter Wassersäule gefunden:

Zur Hervorbringung der Eintrittsgeschwindigkeit von zirka 1 *m/sek*	0·066
Überwindung des Rostwiderstandes	4·605
Überwindung des Widerstandes des Heizraumes und der Kesselröhren	6·224
Überwindung des Widerstandes in den Zügen	0·304
Zur Hervorbringung der Austrittsgeschwindigkeit aus den Feuerzügen von zirka 3·4 *m/sek*	0·430
Totale effective Pressung	11·629 *mm*

Bei stationären Kesseln ohne Feuerröhren kann angenommen werden, daß die Drosselwirkung des Rostes ungefähr Dreiviertel des totalen Essenzuges beansprucht, von dem restlichen Viertel entfallen zirka 75% auf die Widerstände in den Zügen und dem Kamine, während somit nur $^1/_{16}$ der totalen Zugkraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit erforderlich ist. — Professor Galc führt die Untersuchung eines Falles an, in welchem 60% der totalen Zugstärke durch die Drosselwirkung des Rostes verloren ging und nur 4% derselben zur Beschleunigung der Gase verzehrt wurden. Der betreffende Schornstein hatte eine Höhe von 32 *m*, die Temperatur der Essengase betrug im Mittel 320° C. — Würde die ganze Zugstärke zur Erzeugung der Geschwindigkeit verwendet worden sein, dann hätte diese den Betrag von zirka 24 *m* erreichen müssen, während dieselbe in Wirklichkeit nur zirka 4·9 *m* betrug. Obwohl der schließliche Zweck jeder Art der Zugerzeugung

[1]) Nach Musil: Die Wärmekraftmaschinen. Leipzig, B. G. Teubner, 1902, aus Transactions American Society of Mechanical Engineers, Vol. XI. Horace Galc, Theory and Design of Chimneys. Sowie: Mechanical Draft von Sturtevant Co., Boston.

darin gipfelt, die Verbrennungsproducte fortzuschaffen und die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge zuzuführen, so ist doch, wie schon aus obigem hervorgeht, dieser Anteil der Gesamtarbeit verschwindend klein im Vergleiche mit jener Arbeit, welche die Überwindung der Bewegungswiderstände seitens des Brennmateriales und des Kessels erfordert oder mit anderen Worten: um eine gegebene Menge eines Brennstoffes zu verbrennen, ist die Fähigkeit eine genügende Druckdifferenz zu erzeugen die erste Forderung; die Fähigkeit eine bestimmte Luftmenge zu bewegen kommt erst in zweiter Linie in Betracht. Zugerzeugungsapparate sind daher nicht bloß nach der pro Zeiteinheit zu bewegenden Luftmenge, welche man durch Multiplikation des Brennstoffverbrauches mit der per Gewichtseinheit derselben erforderlichen Luftmenge erhält, zu beurteilen, denn wäre dies der Fall, dann würde eine Esse von geringer Höhe oder ein großer langsam laufender Ventilator vollkommen genügen; ein Zugerzeugungsapparat, Schornstein oder Ventilator muß in erster Linie so bemessen sein, daß er durch hinreichende Zugstärke die verhältnismäßig sehr großen Widerstände seitens des Brennstoffes und des Kessels überwindet und die erforderliche Zuggeschwindigkeit erzeugt. Diese Zuggeschwindigkeit muß so groß sein, daß das Produkt aus derselben und dem vollen Querschnitte an der Messungstelle jenes Luftvolumen ergibt, welches zur Verbrennung der geforderten Brennstoffmenge notwendig ist. Ist diesen Anforderungen entsprechend die Höhe der Esse oder Durchmesser und Geschwindigkeit eines Ventilators bestimmt, dann hat man nur das Fassungsvermögen des Zugerzeugungsorganes der geforderten Luftmenge anzupassen. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft sowie die Heizgase sich vom Aschenfall bis zum Ende der Feuerzüge (Fuchs) bewegen, ändert sich ungemein unter dem Einfluße der Veränderlichkeit des Querschnittes, der zwischen dem Brennmaterial dem Durchströmen der Verbrennungsluft freibleibt, sowie der Veränderlichkeit der Temperatur. — Die Zugstärke wird aber anderseits auch von der Beschaffenheit des Brennmaterials, der Art der Feuerung und der Bedienung derselben sowie von der Bauart des Kessels abhängig, daher von einer Summe von Faktoren beeinflußt sein, welchen der durch eine Esse erzeugte natürliche Zug immer auch nur annähernd Rechnung tragen kann.

Die Größe der in den abziehenden Essengasen enthaltenen latenten Wärme ist im Durchschnitte ziemlich bedeutend. Aus den Ergebnissen von über 800 Untersuchungen des Wärmeeffektes von Dampfkesselfeuerungen, veröffentlicht durch die österreichische Dampfkessel-Untersuchungsgesellschaft in Wien,[1]) resultiert, daß die Esse im Durch-

[1]) Schenkel, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1899, XLIII. Bd.

schnitt 20% der auf dem Roste erzeugten Wärme verbraucht, somit also $^1/_5$ der gesamten produzierten Kraft in Anspruch nimmt. Selbst unter günstigsten Umständen ist dieser Verlust nicht unter 10%. Dabei darf die Temperatur der Essengase nicht unter 180—190° sinken, damit die Zugsfähigkeit nicht zu stark vermindert werde. Diese 20% der verbrannten Kohle stellen die jährlichen Betriebskosten der Esse dar, zu welchen selbstverständlich noch Verzinsung, Amortisation und Erhaltungskosten hinzugerechnet werden müssen.

Man sieht deshalb, daß der sogenannte natürliche oder Essenzug einen nicht ganz unbeträchtlichen Teil der durch Verbrennung des Brennstoffes entwickelten Wärme in Anspruch nimmt; wohl wird dieselbe durch Einschaltung eines Ekonomisers etc. häufig noch ausgenützt aber diese Art der Ausnützung ist abermals mit einem Zuwachs von großen Reibungswiderständen verbunden, die von der Esse dann wieder überwunden werden müssen.

Die häufig zu treffende Anschauung, daß die Kosten des natürlichen oder Essenzuges verhältnismäßig geringe seien, da hierzu nur die ohnehin verloren gehende Abhitze der Rauchgase notwendig wäre, ist daher nicht ganz gerechtfertigt. Ein weiterer Übelstand des Essenbetriebes ist der Umstand, daß der Essenzug durch die gewöhnlich vorhandenen Mittel nur schlecht regulierbar ist. Toldt sagt in seinem Werke: Regenerativ-Gasöfen etc., Leipzig, Arthur Felix, 1898, das wohl jedem Feuerungstechniker empfohlen werden kann, daß eine empfindliche Regulierung des Essenzuges nur in der Esse selbst möglich und am wirksamsten sei durch Anordnung des hierfür bestimmten Apparates am Essenkopfe. Eine Regulierung durch Essenschieber oder Register im Rauchkanale, wie dies jedoch meistens der Fall ist, sei jedoch sehr unvollkommen. Eine gute Regulierung des Essenzuges und damit auch des Verbrennungsprozesses und der Dampfentwicklung ist jedoch im allgemeinen sehr wünschenswert, insbesonders für diejenigen Betriebe aber von besonderer Wichtigkeit, welche einen ungleichmäßigen Dampfverbrauch untertags haben, wie dies zum Beispiel bei Färbereien, Bleichereien, Brauereien und bei anderen chemischen Betrieben der Fall ist. Bei solchen steigert sich der Dampfverbrauch zu gewissen Betriebsstunden des Tages auf das doppelte und oft auf das dreifache des kleinsten Bedarfes. Da die Zugstärke der Esse nicht in der gleichen Weise erhöht werden kann, so muß in solchen Fällen entweder ein Reservekessel herangezogen werden oder der Betrieb der bereits in Verwendung stehenden Kessel muß derartig forciert werden, daß meistens eine unökonomische Verbrennung, dadurch ein größerer Mehraufwand an Kohle und gleichzeitig geringere Verdampfungsfähigkeit desselben die Folgen sind.

Zeigen schon die früher besprochenen physikalischen Gesetze des Essenzuges keine sehr günstigen Verhältnisse, so ist noch dazu in Betracht zu ziehen, daß der Essenzug abgesehen von der Geschicklichkeit und Sorgfalt des Heizers auch noch von den Witterungsverhältnissen wie äußeren Temperatur mitunter Windrichtung und -stärke abhängig ist und die Esse durch ihre ragende Gestalt auch mitunter der Beschädigung durch stärkere Stürme sowie Blitzschläge ausgesetzt ist.

Und nun kommt noch das Moment der Rauchbelästigung, welche mit dem Essenbetriebe fast unumgänglich verbunden ist, hinzu. Man braucht durchaus nicht auf dem Standpunkte des einseitigen Hygienikers zu stehen, der in vielen Fällen eine Industrie an bestimmten Orten ganz unmöglich macht, um doch die Anschauung zu teilen, daß, sollte der natürliche oder Essenzug in ökonomischer oder mindestens ebenso wirtschaftlicher Weise durch andere Mittel ersetzt werden können, deren Verwendung eine Verminderung oder sogar nahezu Beseitigung des qualmenden Rauches zur Folge hätte, ein solcher Ersatz auch aus diesem Grunde schon ernstlich ins Auge zu fassen sei. Wenn im vorhergegangenen der Essenzug größtenteils in einem für die Esse ungünstigen Sinne besprochen wurde, entsprechend der hierüber von Schenkel in seinem angeführten Aufsatze vertretenen, allerdings in vielen Richtungen begründeten Anschauungen, so sei damit nicht gesagt, daß diesen Anschauungen vollständig beizupflichten sei, und es werden anderseits später auch die zugunsten des Essenzuges mit Recht geltend gemachten Argumente näher besprochen werden.

Die verschiedenen Arten des mechanischen Zuges.

Das am häufigsten verwendete Mittel zur Erzeugung des mechanischen Zuges ist das sogenannte Blaserohr bei den Lokomotiven, dessen Wirkung auf dem Umstande beruht, daß ein durch den Schornstein geblasener Dampfstrahl, von geringerem Querschnitte als der erstere, eine bestimmte Menge der umgebenden Gase mechanisch mitreißt. Bei den Lokomotiven ist eben ein genügend hoher Schornstein nicht möglich und man hat anderseits in dem auspuffenden Dampfe ein nahezu kostenlos zur Verfügung stehendes Zugerzeugungsmittel, so daß das Lokomotivblaserohr wohl auch für zukünftige Zeiten sich in diesem Falle behaupten wird.[1]) Auch bei Lokomobilen wird es mehrfach angewendet, ja selbst bei kleineren, mit Auspuff arbeitenden Flußdampfern. Für die zweite, bedeutend größere Gruppe beweglicher Kesselanlagen, wie Schiffskessel,

[1]) Bekanntlich wird auch mitunter bei stationären Feuerungsanlagen, bei gemauerten Schornsteinen der Zug durch eine Art Blaserohr, Dampfstrahlsauger verstärkt.

kann diese Art der Zugserzeugung aus mehrfachen Gründen nicht verwendet werden und man ist seit Jahrzehnten schon zu der mechanischen Zugerzeugung durch Ventilatoren in diesem Falle angewiesen gewesen. (Schon 1813 hat Erikson die Anwendung von Unterwind für Schiffskessel empfohlen.) Gegenwärtig werden fast alle modernen Kriegsschiffe und ein Teil der großen Handelsdampfer mit künstlichem Zuge betrieben,[1]) welcher in der Regel erst bei erhöhter Leistung vollständig herangezogen wird. Für Handelsdampfer ist jedoch durchaus nicht allgemein der künstliche Zug in Anwendung, wie dies bei mehreren großen Schnelldampfern Deutschlands und Österreichs der Fall ist und bei Flußdampfern ist in letzter Zeit häufig die früher allgemeine Art des Betriebes mit Unterwind fallen gelassen worden, weil durch denselben die Kessel zu sehr leiden sollen. Bei kleineren Dampfern, die mit Auspuff arbeiten, wird jetzt häufig das Blaserohr verwendet, während größere Flußdampfer, deren Maschinen mit Kondensation arbeiten, mit natürlichem Zuge ausgerüstet werden. In Amerika und England ist schon seit einer Reihe von Jahren der künstliche Zug, erzeugt durch Ventilatoren, auch für stationäre Kessel in Anwendung, während im Deutschen Reiche und in Österreich bis vor kurzem nur wenig Feuerungsanlagen damit gearbeitet haben. Durch eine Reihe von Publikationen, namentlich R. Schenkels „der Ersatz der Dampfschornsteine durch mechanische Zugmittel" (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1899, XLIII Bd.), sodann „der Einfluß des künstlichen Zuges auf den Wirkungsgrad der Kesselanlagen" von Walther B. Snow und „Über künstlichen Zug" von Friedrich Toldt, Leoben, endlich „Ventilation and Heating. Principles and Application, B. F. Sturtevant Co., Boston, Mass" und die insbesondere durch den Artikel Schenkels veranlaßten kritischen Erörterungen hervorragendster Fachmänner in verschiedenen technischen Zeitschriften wurde das Kapitel des mechanischen Zuges auch in Deutschland und Österreich in eine lebhaftere Diskussion gebracht, so daß wir demselben wohl auch eine etwas größere Berücksichtigung im folgenden widmen dürfen. Der natürliche Essenzug kann in mehrfacher Weise durch mechanische Mittel ersetzt werden: 1. Durch Saugluftzug, wobei der Aschenfall vollständig frei und offen ist und die Rauchgase am Ende der Feuerung mechanisch abgesaugt werden; 2. durch Druckluftzug, wobei komprimierte Luft, Wind unter das brennende Material geblasen wird und die Rauchgase durch den nachdrückenden Wind aus der Feuerungsanlage abgedrückt werden. Im letzteren Falle kann die komprimierte Luft, der Unterwind, entweder bei geschlossenem Aschenfalle

[1]) Siehe überdies diesbezüglich: Eberle, Schornstein- und Ventilatorzug in der Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionvereines, 1900, S. 100 ff.



zu dem Brennmaterial hinzutreten oder er wird bei offenem Aschenfall und geschlossenem Heizraume eingeblasen.

In beiden Fällen sowohl bei Saugzug als bei Druckzug bedient man sich zur Hervorbringung derselben fast ausschließlich der sogenannten Ventilatoren oder Schleudergebläsen.

Es sind dies in einem Gehäuse sich bewegende Apparate, in welchen die zu fördernde Luft von einer Anzahl rotierender, auf einer horizontalen Achse angebrachter Schaufeln, Schraubenflächen oder Flügeln erfaßt, infolge der rotierenden Bewegung zu einer höheren Geschwindigkeit in zentrifugaler Richtung gebracht und infolgedessen in einer zu dem Flügelrade tangentialen Richtung ausgedrückt wird. Man unterscheidet Sauger oder Exhaustoren, welche aus einer geschlossenen Saugleitung Luft oder Gase ansaugen und ins Freie abdrücken oder Bläser, Ventilatoren im engeren Sinne mit freier Luftzuströmung und geschlossener Abdruckleitung (Druckzug) oder es können diese Apparate so konstruiert werden, daß sie gleichzeitig saugen und drücken, bei welchen in das Gehäuse sowohl die geschlossene Saugleitung als auch die geschlossene Abdruckleitung einmünden. Die Ventilatoren bestehen demnach aus einem Gehäuse von Guß- oder Schmiedeeisen oder aus Eisenblech, aus Holz oder namentlich bei größeren Dimensionen aus Mauerwerk gemauert (Grubenventilatoren), welches entweder zylindrisch die Flügel umschließt oder mit einem sich allmählich erweiternden ringförmigen Raum versehen ist, welcher als Verteiler oder Diffusor bezeichnet wird und in welchem die Geschwindigkeit der Luft allmählich gegen die Ausblaseöffnung hin verringert wird, wodurch eine Umsetzung der Geschwindigkeit in Druck stattfindet.

Durch die infolge des Ventilators erfolgende Bewegung der Luft wird eine Verminderung des Druckes derselben gegen den der umgebenden, beziehungsweise aus dem Ventilator ausgeblasenen Luft erzeugt; dieser Spannungsunterschied heißt bei saugenden Ventilatoren Depression, bei blasender Pressung oder Überdruck.[1])

Im allgemeinen hängt, wie später näher erörtert werden wird, die Menge der bewegten Luft abgesehen von der Konstruktion und Zahl der Flügel von der Dimensionierung derselben, sowie von der Tourenzahl ab. Unter sonst gleichen Umständen steigt die geförderte Luftmenge annähernd proportional mit der Tourenzahl (siehe später), so daß man durch die Erhöhung der Geschwindigkeit des Ventilators auch

[1]) Die Depression, beziehungsweise die Pressung drückt man meistens in Millimeter Wassersäule aus. Da eine Atmosphäre einer Wassersäule von 10.333 *m* = 10.333 *mm* oder abgerundet 10.000 *mm* das Gleichgewicht hält, so entspricht 1 *mm* Wassersäule einem Luftdruck von 0·0001 Atmosphäre oder 100 *mm* = 0·01 Atmosphäre.



die geförderte Luftmenge erhöhen kann, andererseits haben Rechnung und Erfahrung gezeigt, daß der Kraftbedarf zum Betriebe des Ventilators in ungleich höherem Maße zunimmt als die Tourenzahl und damit die geförderte Luft, beziehungsweise Gasquantitäten. (Siehe später.)

Man wird deshalb, um Antriebskraft zu sparen, für die im Auge habenden Zwecke Ventilatoren mit nicht zu kleinen Dimensionen verwenden, um mit geringerem Kraftaufwand größere Gasmengen zu bewegen.

Die Ventilatoren, welche Druckluft erzeugen, haben zu beiden Seiten ihres Gehäuses zur Achse konzentrische Einströmöffnungen; jene, welche Luft beziehungsweise Rauchgase ansaugen, erhalten nur auf einer Seite eine solche Öffnung, an die ein Blechrohr zum Ansaugen der Rauchgase angeschlossen wird. Derartige Sauger befördern ohne

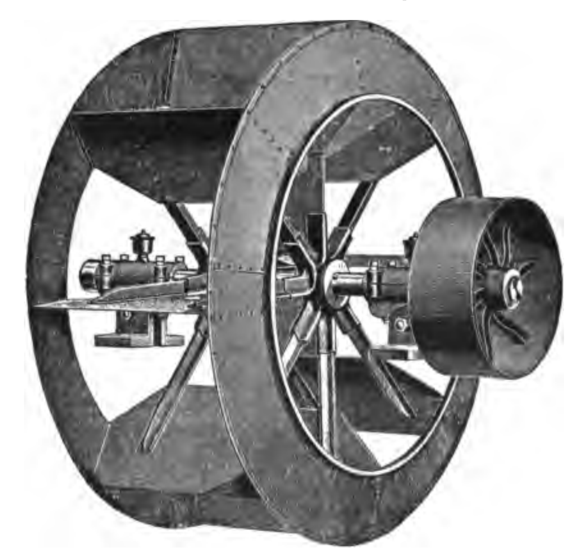


Fig. 1. Ventilatorflügel.

Anstand Gase von 300° und selbst 400° C. und veranlassen Ruß und Flugasche meistens keinerlei Betriebsstörungen.

Die Ventilatorflügel werden in der Regel ausbalanciert, damit ihr Schwerpunkt im Wellenmittel liegt, wodurch ein guter und weniger Geräusch veranlassender Gang derselben bewirkt werden kann.

Die Flügel sind häufig aus eisernen T-förmigen Armen gebildet, welche die ebenfalls aus Eisenblech hergestellten Flügelplatten tragen. Die langen Lager haben Staubfänger und sind mit ununterbrochener Wasserkühlung versehen; die Zapfen laufen beständig in Öl. In Fig. 1 [1]) ist eine der gebräuchlicheren Konstruktionen eines Ventilator-Flügelsystems zur Anschauung gebracht. Sie entspricht den Anforderungen

[1]) B. F. Sturtevant Co. Ventilation and Heating. Principles and Application.

von möglichst geringem Gewicht mit möglichst größter Festigkeit und Dauerhaftigkeit und ist speziell geeignet, große Mengen von Gasen von niedrigeren Pressungen mit dem kleinsten Kraftaufwand zu befördern.[1])

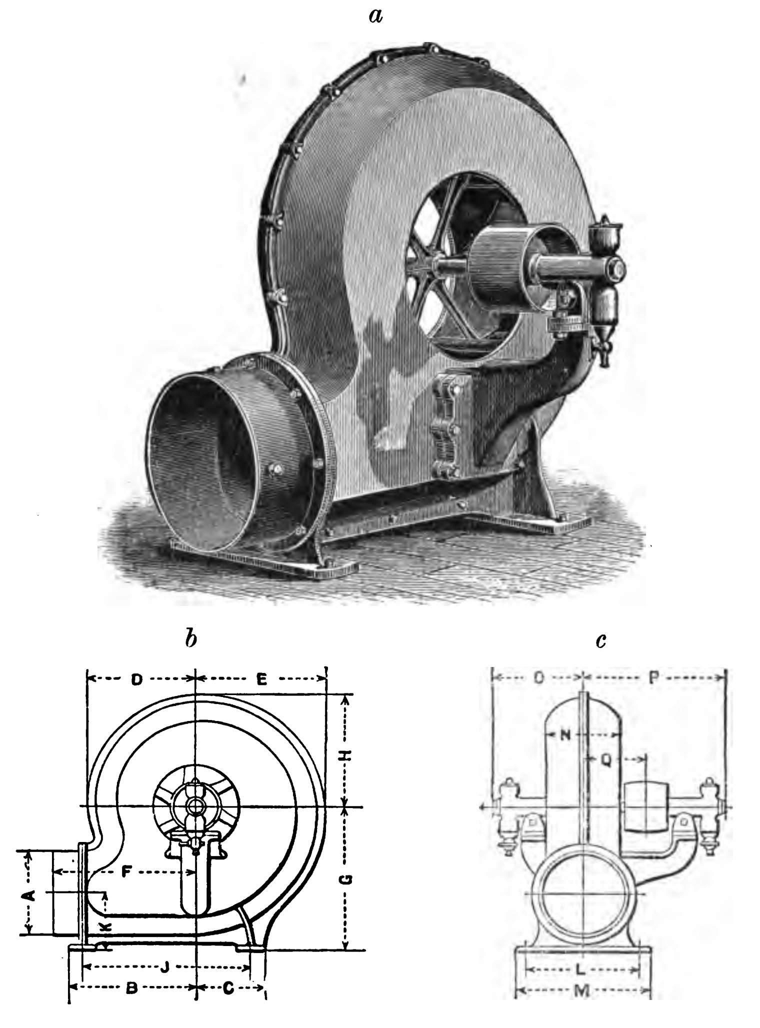


Fig. 2. Blasender Ventilator.

Bezüglich der Konstruktion[2]) kann man weiters zwei Systeme von Ventilatoren unterscheiden. Bei den einen ist das Flügelrad nach Art

---

[1]) Selbstverständlich ist die beschriebene Konstruktion nicht die Einzige, die diesem Zwecke entspricht.

[2]) Näheres über Ventilatoren und Gebläse siehe in Hoyers: Maschinenkunde sowie besonders in v. Ihering: Die Gebläse etc.

der Schraubenpropeller gebaut, wodurch die Flügelflächen, die nach dem Prinzipe der schiefen Ebene wirken, die Luft in Schichten, welche zur Ventilatorachse parallel sind, fortbewegen. Diese Schrauben- oder

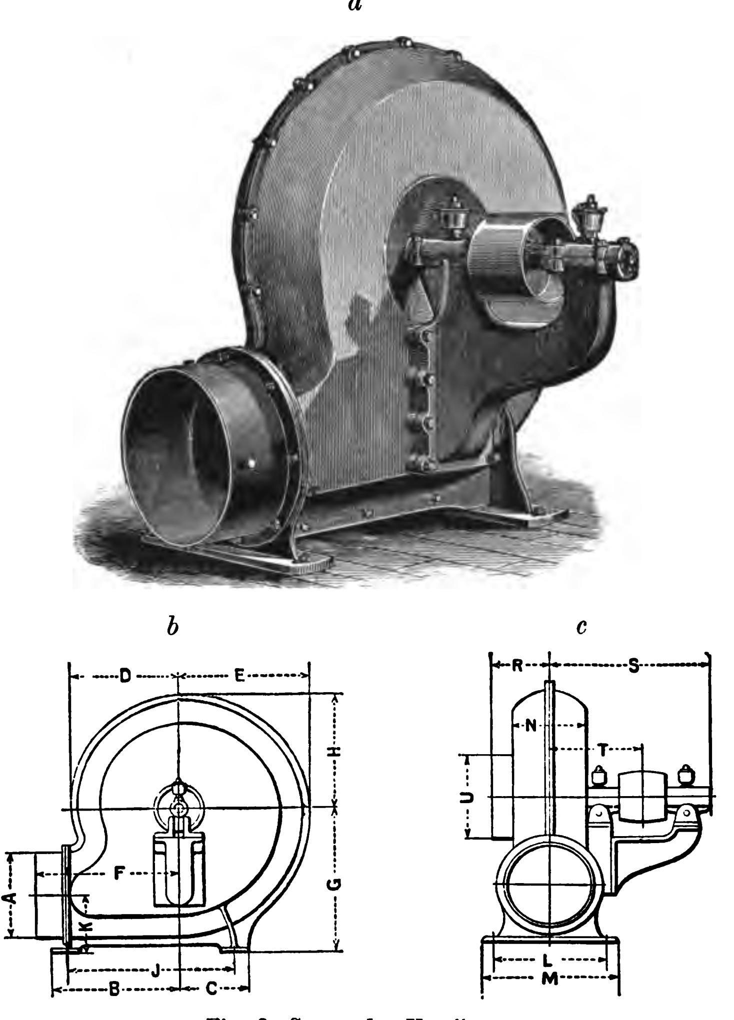


Fig. 3. Saugender Ventilator.

Propellerventilatoren sind nur da mit Vorteil zu verwenden, wenn es sich um Ventilation im weiteren Sinne des Wortes handelt. Für die Überwindung größerer Widerstände, also zur Erzeugung stärkeren Zuges, sind sie jedoch nicht geeignet, und es können hierfür nur die Ventilatoren der zweiten Art von Konstruktion, die Zentrifugalventilatoren, verwendet werden.

Die saugenden Ventilatoren laufen gewöhnlich mit einer Umdrehungszahl von 250—350 per Minute. Der Nutzeffekt kann hierbei zu zirka 40% im Mittel angenommen werden. Doch empfiehlt es sich zur Berechnung der Zylinderdimensionen den Wirkungsgrad nur mit 35% anzunehmen, da zweifellos noch niedrigere Nutzeffekte in Praxis angetroffen werden.

In Fig. 2, 3, 4 und 5 sind einige Typen zur Zugerzeugung verwendeter Ventilatoren abgebildet; die ersten drei ohne, der vierte mit eigener Dampfmaschine.[1])

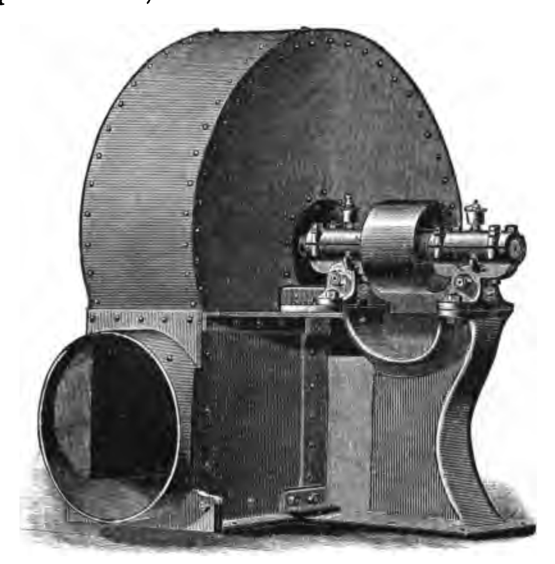


Fig. 4. Stahlblech-Ventilator für Riemenantrieb.

Über den Arbeitsaufwand der Ventilatoren mit Rücksicht auf das geförderte Luftquantum, beziehungsweise die Pressung der Luft, sowie die Geschwindigkeit und die Tourenzahl, sind in den einschlägigen Spezialwerken[2]) nähere Formeln ausführlich abgeleitet. Im Folgenden sei eine mir von Herrn Prof. Wellner erläuterte Ableitung wiedergegeben, die sich durch besondere Einfachheit und Klarheit auszeichnet.

Die Arbeit, die ein und derselbe Ventilator leistet, steht im direkten Verhältnis zur geförderten Luftmenge L zur Pressung derselben p und ist abhängig von einem spezifischen Faktor a, der von seinen konstruktiven Verhältnissen und anderen Momenten abhängt.

[1]) Die auf den mechanischen Zug bezüglichen Abbildungen sind fast alle mit Bewilligung der Sturtevant Engineering Company, Ltd. in London, deren Prospekten und vorzüglichen Publikationen über diesen Gegenstand entnommen.

[2]) v. Ihering: Die Gebläse. v. Hauer: Die Ventilationsmaschinen etc.

Es ist demnach $A = Lp \,.\, (a)$.

Das geförderte Luftquantum L in Kubikmetern ist $L = F \,.\, v$, wenn F den Querschnitt der Ausblaseöffnung in Quadratmetern, und v die Geschwindigkeit der Luft in Sekundenmetern bedeutet.

Aus der bekannten Formel für die Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$ ergibt sich $h = \frac{v^2}{2g}$. Die Pressung p wird gemessen durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule (Wasser oder Quecksilber h multipliziert mit dem

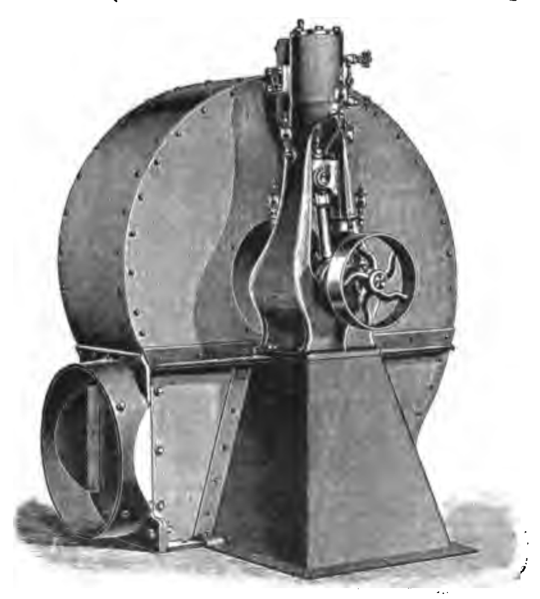


Fig. 5. Stahlblech-Ventilator mit direktem Antrieb durch eine stehende einzylinderige Dampfmaschine.

spezifischen Gewicht γ. Demnach $p = h\gamma$. Setzen wir für h den letzten Wert ein, so bekommen wir

$$p = v^2\left(\frac{\gamma}{2g}\right) = v^2(c)$$

oder da v proportional zur Tourenzahl n des Ventilators steht $p = n^2(d)$, wobei d einen neuen konstanten Koeffizienten bedeutet. Werden nun in dem anfänglichen Wert für die Arbeit $A = L \,.\, p \,.\, (a)$ die letztgenannten Werte eingesetzt, so resultiert

$$A = F \,.\, v \,.\, v^2(c)\,(a) = v^3(F \,.\, c \,.\, a).$$

Es ergibt sich demnach, daß die vom Ventilator zu leistende Arbeit mit Rücksicht auf die Luftbeförderung abhängig ist von der dritten Potenz der Geschwindigkeit, beziehungsweise der Tourenzahl.

Macht ein und derselbe Ventilator einmal $n_,$ Touren und ein zweitesmal $n_{,,}$ Touren, so ergibt sich

$$\frac{n_,}{n_{,,}} = \frac{v_,}{v_{,,}} = \sqrt{\frac{p_,}{p_{,,}}}$$

und demnach

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{n_,}{n_{,,}}\right)^2 = \left(\frac{v_,}{v_{,,}}\right)^2.$$

Die Luftlieferungen in diesen zwei Fällen verhalten sich wie

$$\frac{L_,}{L_{,,}} = \frac{v_,}{v_{,,}}$$

und die dabei erforderlichen Betriebsarbeiten für den Ventilator wie

$$\frac{A_,}{A_{,,}} = \left(\frac{v_,}{v_{,,}}\right)^3.$$

Nachträglich fand ich in ebenso einfacher Weise die wesentlichsten Momente der Wirkungsweise der Ventilatoren in dem vorzüglichen englischen Werke: „Mechanical Draft, a practical Treatise, edited by Walter B. Snow of the engineering Haff of the B. F. Sturtevant Co." abgehandelt.

Die Pressung p wird gemessen durch die Höhe einer Luftsäule h multipliziert mit ihrem spezifischen Gewicht d, also $p = hd$ und daraus

$$h = \frac{p}{d}.$$

Setzen wir in der Formel $v = \sqrt{2gh}$ diesen Wert für h, so erhalten wir

$$v = \sqrt{2g\frac{p}{d}}.$$

Wenn W die Arbeit, die zur Förderung einer gewissen Luftmenge notwendig ist, durch eine Öffnung von dem Flächeninhalt a und p die Pressung und v die Geschwindigkeit der Luft bedeutet, so ist $W = pav$; da aber $v = \sqrt{2g\frac{p}{d}}$ ist, so erhalten wir $p = \frac{dv^2}{2g}$ und deshalb ist $W = \frac{dav^3}{2g}$.

Es wächst also die bei einem Ventilator zu leistende Arbeit für die Luftbeförderung mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit und da diese proportional der Tourenzahl, also auch mit der dritten Potenz der letzteren. Die Pressung p wächst, da $p = \frac{dv^2}{2g}$, mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

In nachstehender Fig. 6 sind die Beziehungen zwischen der

Tourenzahl eines Ventilators, dem Volumen der geförderten Luftmenge, der Pressung derselben und die erforderliche Arbeit in Pferdekräften graphisch dargestellt.[1]) Die Zeichnung der Kurven ist entworfen mit Rücksicht auf die abgeleiteten Verhältnisse, nach welchen die Luftmengen im direkten Verhältnis zur Geschwindigkeit, die Pressungen derselben im quadratischen Verhältnis der Geschwindigkeit und die erforderliche Arbeit, ausgedrückt in Pferdekräften, im kubischen Verhältnis zu derselben stehen. Man ersieht aus der Tafel, daß bei Ver-

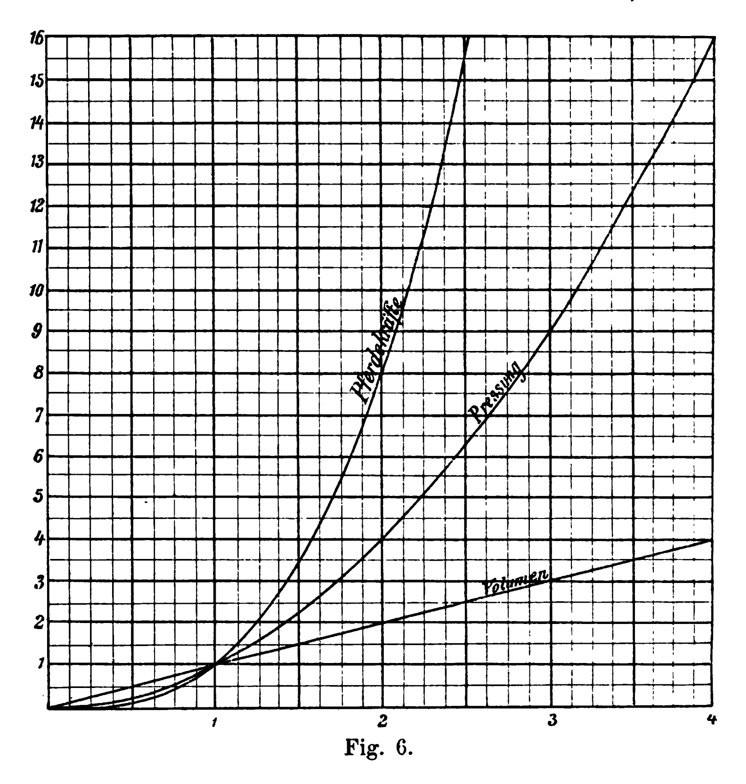


Fig. 6.

doppelung der Geschwindigkeit von 1 auf 2 das Luftvolumen ebenfalls verdoppelt wird, während die Pressung auf das Vierfache ($= 2^2$) steigt und die erforderliche Arbeit das Achtfache $= 2^3$ erreicht.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, nachdem die notwendigen Pressungen ohnehin leicht durch einen entsprechend konstruierten Ventilator erzielt werden können, demselben, um möglichst wenig Arbeitsaufwand zu erfordern, lieber größere Dimensionen zu geben, da man bei kleiner dimensionierten Ventilatoren, um die nötige Luftmenge bei forzierterem Feuerungsbetriebe zu fördern, schon bei verhältnismäßig wenig

[1]) Nach B. F. Sturtevant Comp. etc. Mechanical Draft.

beschleunigter Geschwindigkeit einen zu stark anwachsenden Kraftbedarf hätte und der Betrieb des Ventilators dann ein zu kostspieliger wäre.

Der Betrieb mit Druckluft oder Unterwind, der schon seit längerer Zeit für Feuerungsanlagen verwendet wurde, hat allerdings den Vorteil, daß er sich allen Verhältnissen und Kesselarten anpaßt.[1])

Mancherlei Konstruktionen vermitteln den Luftzutritt zum Feuer. Düsen, hohle Feuerbrücken, Luftkanäle in den Seitenwänden des Feuerraumes, hohle Roststäbe und dergl. sind in Anwendung gekommen, um Luft und Brennstoff in innige Berührung zu bringen. Aber manche dieser Vorkehrungen hatten den Nachteil, daß sie die Luft ungleichmäßig verteilten, wodurch Teile des Rostes freigelegt und dem Hindurchströmen von kalter Luft der Weg geöffnet wurde.

Daneben mag die Besorgnis, daß die Kesselbleche durch die zu hohe Temperatur des Feuers Schaden leiden möchten, dazu beigetragen haben, daß man der Unterwindzuführung mißtrauisch gegenüberstand und daß sie sich bei ortfesten Kesseln auf dem europäischen Festlande keinen Boden eroberte, während sich die Marine dieses Mittels schon seit Jahren mit ausgezeichneten Erfolgen bedient. England und Amerika dagegen besitzen bereits eine namhafte Zahl von damit ausgerüsteten ortfesten Kesselanlagen, indes auf dem Festlande Frankreich eifrig nachzufolgen beginnt.

Wenn eine Anlage von mehreren Kesseln mit Preßluft versorgt werden soll, so führt man diese zweckmäßig in einem gemauerten Kanale vor den Kesseln her.

Zu jedem Aschenfall führt eine Öffnung, die durch eine vom Heizerstande aus leicht bewegbare Klappe ganz oder teilweise verschlossen werden kann, so daß die Verbrennung bequem zu regeln ist. Ebenso anstandslos können die Aschenfälle geräumt werden.

Fig. 7 zeigt eine typische Zugerzeugungsanlage nach der Druckmethode. Der Ventilator ist so konstruiert, daß die Luft in einen unterirdischen, aus Backsteinen gebildeten Kanal hineingeblasen wird, welcher vor der Kesselfront entlang läuft. Von diesem Kanale entweicht die Luft durch Zweigkanäle nach den Dämpfern der Aschenfälle, wie aus Fig. 7 *a*, *b*, *c* und *d* ersichtlich ist.

Solche Anordnung kann meistens sehr leicht bei einer jeden bereits bestehenden Kesselanlage angebracht werden.

In einer neu zu errichtenden Kesselanlage ist es jedoch besser, die Feuerbrücke hohl zu gestalten und als Luftkanal zu gebrauchen.

Eine Druck-Zugerzeugungsanlage, in welcher die Luft durch eine hohle Feuerbrücke einströmt, ist deutlich aus Fig. 8 *a*, *b*, *c* und *d* ersichtlich.

---

[1]) Siehe Schenkels mehrfach zitierte Abhandlung.

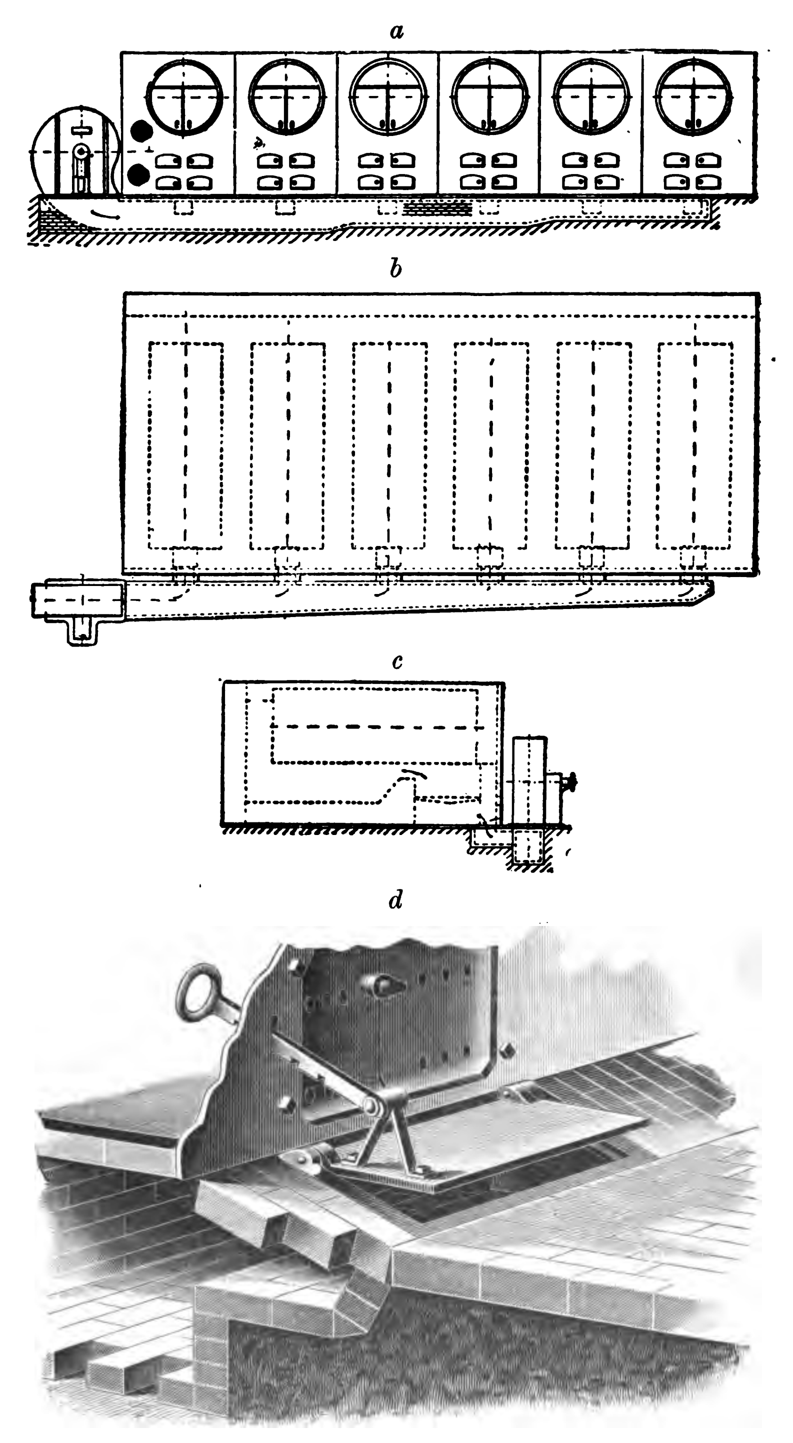


Fig. 7. Druckzuganlage mit eigener Luftzuleitung vor den Kesseln.

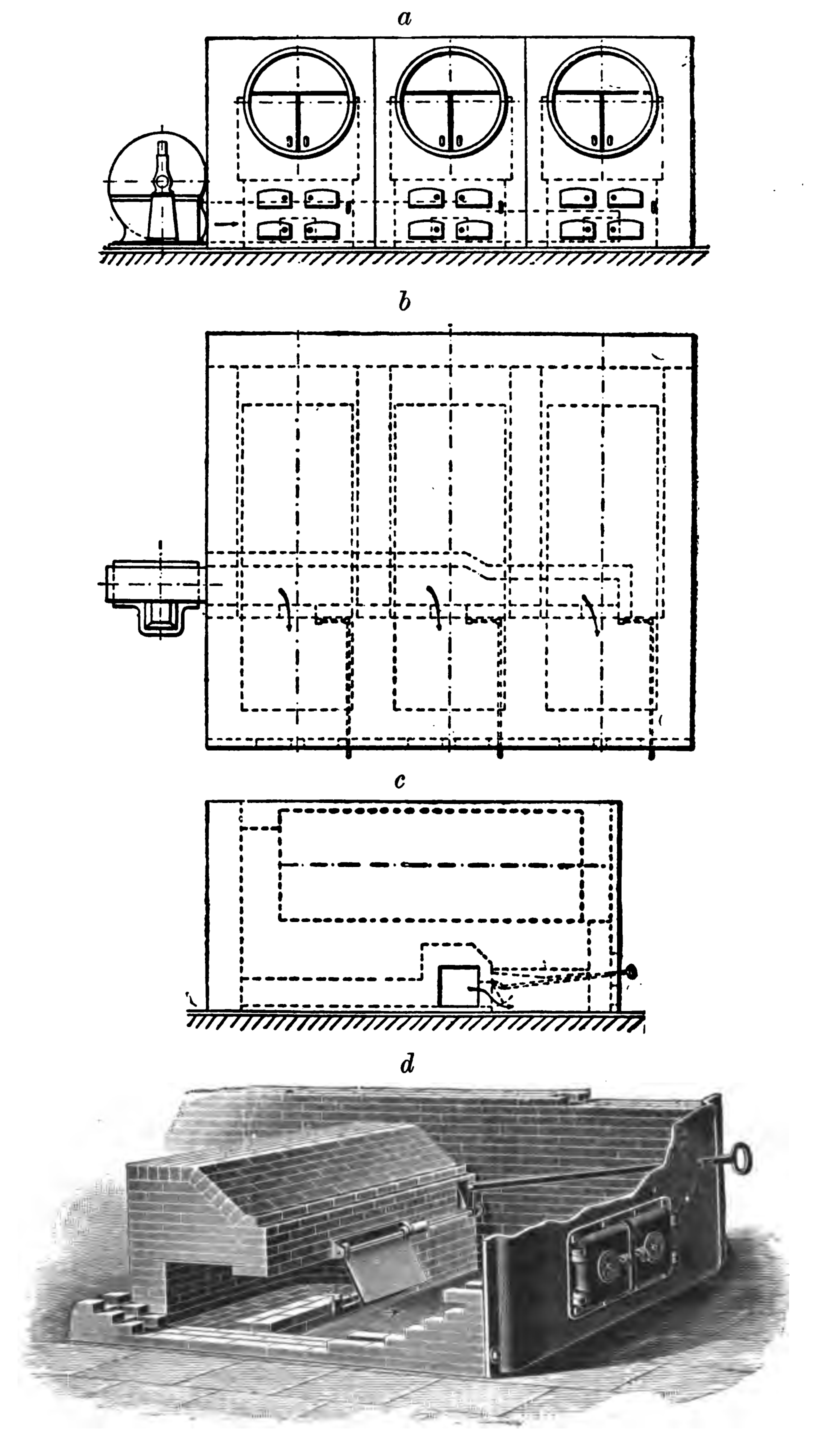


Fig. 8. Druckzuganlage mit hohler Feuerbrücke als Luftkanal.

Die Regulierung erfolgt gleichfalls vom Heizerstande aus. In dem Hohlraume der Feuerbrücke wird die Luft leicht vorgewärmt, was der Verbrennung jedenfalls förderlich ist.

Das zweite Verfahren, Druckluft bei offenem Aschenfall und geschlossenem Heizraume, besteht darin, daß der ganze Kesselraum mit Luft höheren Druckes erfüllt wird. Aus verschiedenen Gründen hat diese Art des mechanischen Zuges keine Aussicht, von ortfesten Anlagen benützt zu werden, und fällt daher hier außer Betracht.

Auf Schiffen hat es sich dagegen eingebürgert.

Eine weitere Art der Erzeugung des mechanischen Zuges besteht in der Anbringung eines Ventilators am Abschlusse der Feuerungsanlage. Diese Art kommt dem natürlichen Zuge am nächsten und hat vor dem anderen mehrfache Vorteile. Undichtheiten der Feuerzüge werden keinen Anlaß geben, daß Rauch und Staub in das Kesselhaus austreten; das Herausschlagen des Feuers beim Auflegen der Kohle, das Ausblasen der Asche in den Heizraum wird ebenso vollständig vermieden; der Aschenfall ist wesentlich leichter und bequemer zu reinigen als bei natürlichem Zuge oder Unterwind; der Heizraum selbst wird vorzüglich gelüftet, und jede Stauhitze an der Kesselbrust erscheint verhindert. Während der Heizer bei Unterwind darauf achten muß, daß der Rost nicht stellenweise freigeblasen wird, weil dies die Roststäbe zerstören und unnötigen Luftüberschuß erzeugen würde, besteht diese Gefahr beim Saugluftzuge nicht; ebenso kommen Stichflammen wegen der gleichartigen Luftdruckverteilung nicht vor. Winddruckleitungen und besondere Klappen fallen gänzlich weg. Die Zugstärke ist durch die Aschenfallklappen leicht, ja sogar selbsttätig regelbar. Schließlich vereinigen sich die Heizgaskanäle von selbst.

Die an Lokomotiv- und Torpedobootkesseln gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, daß bei Saugzug eine viel größere Schonung der Feuerrohre erfolgt als bei Druckzug oder Preßluft. Im letzteren Falle wird nämlich die Flamme, bevor sie sich in die einzelnen engeren Rohre verteilt, mit einer gewissen Kraft gegen die Rohrwand stoßen, während bei Saugzug schon in einer gewissen Entfernung vor den Röhrenmündungen die Teilung derselben in Flammenzungen erfolgt. Die Rohrmündungen sind daher der zerstörenden Wirkung der Stichflamme weniger ausgesetzt.

Diese vorteilhafteste Art des mechanischen Zuges ist erst später wie der Druckzug zur Anwendung gelangt, weil man die zerstörende Einwirkung der heißen Rauchgase auf die inneren Bestandtheile der Exhaustoren fürchtete. Gegenwärtig ist diese Art des mechanischen Zuges für ortfeste Feuerungen wohl die zweckmäßigste und häufigste.

Da die saugenden Ventilatoren den Luftüberschuß von höherer Temperatur und die ebenso heißen Verbrennungsprodukte des Brennstoffes zu befördern haben, so müssen sie im allgemeinen viel größer dimensioniert sein als blasende Ventilatoren (für Druckzug). In vielen Fällen können die Rauchgase durch ein verhältnismäßig niedriges Rohr ins Freie geleitet werden (zirka 9 *m*). Die Anordnung des Ventilators und des Abzugsrohres kann dann ähnlich, wie es den Abbildungen Fig. 9 entspricht, erfolgen.

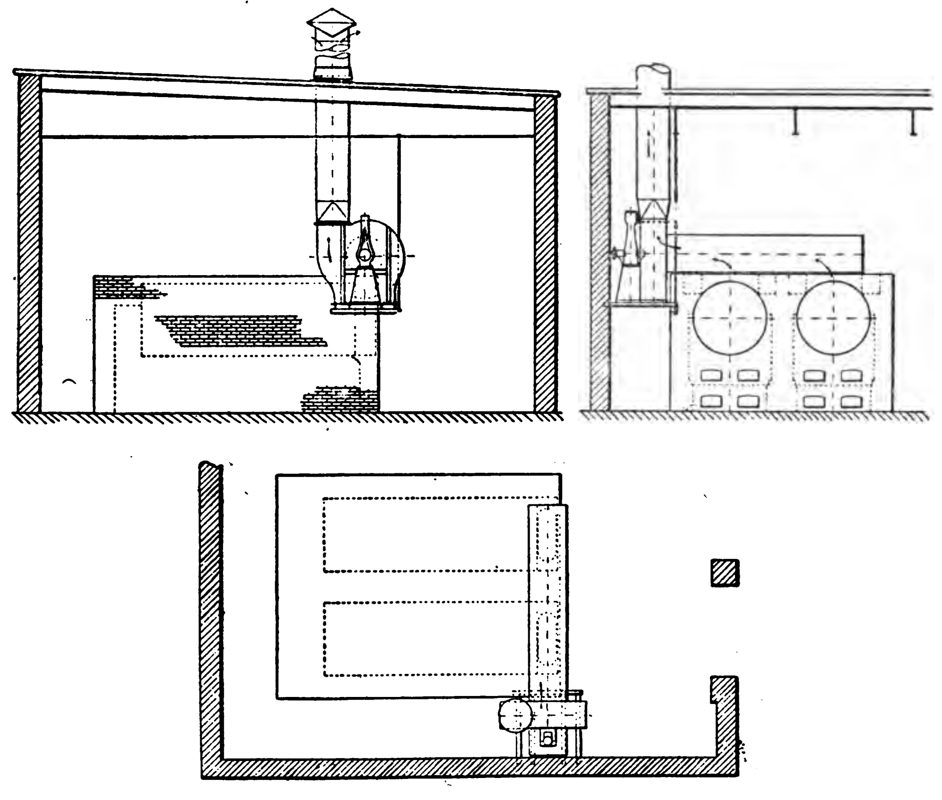


Fig. 9. Saugzuganlage.

Selbstverständlich kann das nur in gewissen Fällen für Dampfkesselfeuerungen gelten; wo neben Rauchgasen auch andere gasige Produkte, wie bei Hüttenwerken und chemischen Fabriken, zur Ableitung gelangen, ist jedoch eine derartige Anordnung nicht am Platze.

Fig. 10 gibt ein Abbild einer anders angeordneten Sauganlage. Der Sauger ist hier auf der Decke der drei nebeneinander befindlichen Kessel angeordnet. Die Esse nimmt die vom Flügel ausgestoßenen Gasmengen unmittelbar auf, befindet sich also gerade über den Kesseln

selbst. Die Rauchgase aller drei Kessel werden in eine über ihnen liegende Kammer geleitet, die aus Blechen zusammengenietet ist. Aus ihr zweigt das durch eine Klappe verschließbare wagrechte Saugrohr ab. Durch ein weiteres, schräg von der Rauchkammer abzweigendes Blechrohr, welches oberhalb des Saugers in den Blechkamin mündet,

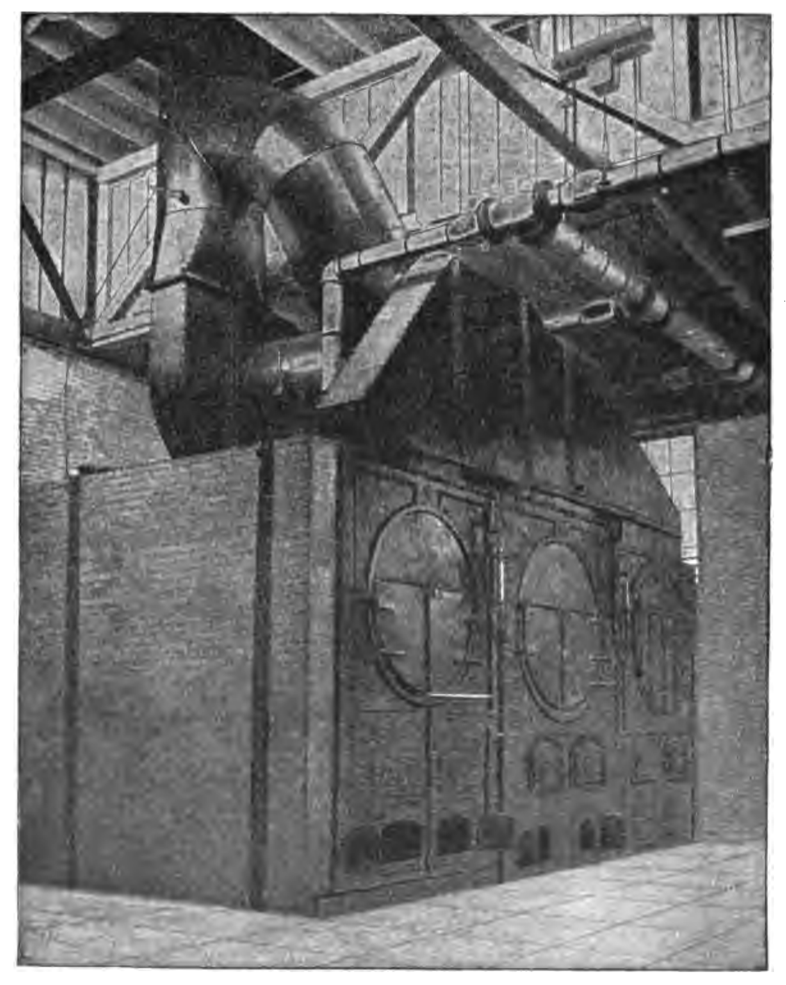


Fig. 10. Saugzuganlage.

wird das Anheizen der Kessel ohne mechanische Zugwirkung ermöglicht, falls alle drei kalt gewesen sind. Sobald dann in einem der Kessel Dampfdruck vorhanden ist, wird der Ventilator in Betrieb gesetzt.

Die Anordnung eines solchen Reservezuges ist jedoch nicht unbedingt nötig, da die Rauchgase auch durch den stillstehenden Ventilator

in das Kaminrohr abziehen können. An Dampfanlagen, bei denen die mechanischen Zugmittel vor allem den Schornsteinzug verstärken sollen, können sie ohne Änderung der baulichen Anlagen und mit nur geringen Kosten angebracht werden. Fig. 11 zeigt die Anordnung eines Saugers, aus dem die Rauchgase durch den bestehenden Dampfschornstein abgeführt werden.

Die Sauger werden in der Regel im oder in nächster Nähe des Kesselhauses aufgestellt, um recht kurze Leitungen zu erhalten. Da sie wenig Platz erfordern und auch auf gemauerten Pfeilern oder eisernen

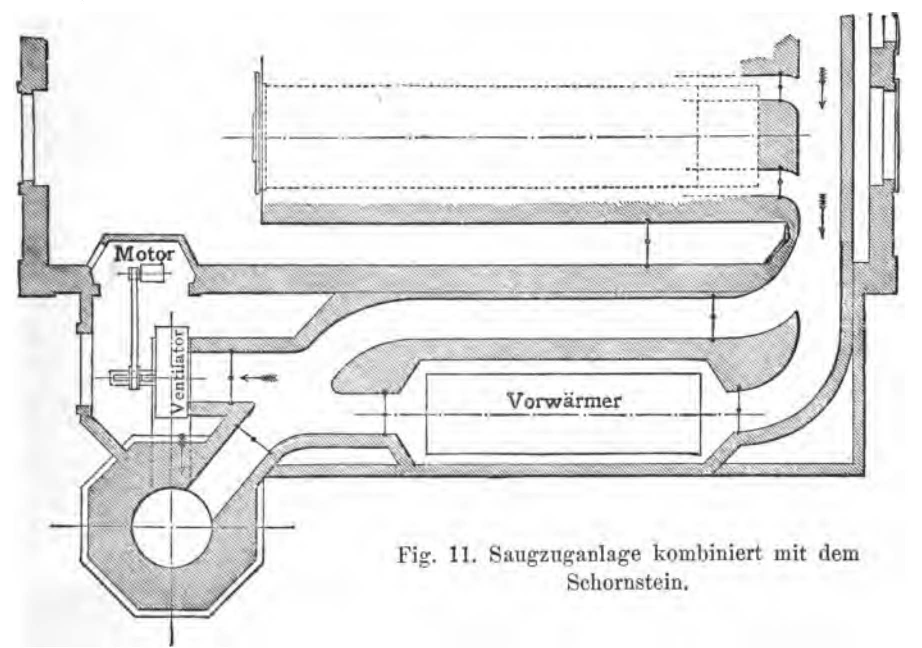


Fig. 11. Saugzuganlage kombiniert mit dem Schornstein.

Trägern aufgestellt werden können, bietet ihr Einbau geringe Schwierigkeiten. Man kann sie durch Selbstöler unabhängig von der Bedienung machen und sogar mit selbsttätigen Reguliervorrichtungen versehen, welche bei Abnahme des Dampfdruckes in den Kesseln mehr Luft zuführen. Bei Ventilatoren, die durch Riemen angetrieben werden, achte man darauf, daß der Riemen nicht gekreuzt geführt wird. In den meisten Fällen, insbesondere bei größeren Anlagen, wird der Sauger durch kleine, unmittelbar mit ihm gekuppelte Dampfmaschinen in Betrieb gesetzt. Auch kann sich elektrischer Antrieb unter Umständen sehr vorteilhaft gestalten.

Bei großen Anlagen mit Saugluftzug pflegt man der Betriebssicherheit halber häufig eine doppelte Ventilatoranlage auszuführen (vgl. Fig 12 *a*, *b* und *c*), deren jede Hälfte im stande sein muß, den gesamten Luftbedarf zu bewältigen. Ein Ventilator steht daher stets in Reserve.

Ein Vorteil des künstlichen Zuges ist der, daß man bei Anwendung desselben auf dem Roste viel höhere Brennstoffschichten verbrennen kann als bei Essenzug und deshalb den Nutzeffekt der Verbrennung innerhalb gewisser Grenzen steigern kann. Die Ursache dieser Erscheinungen liegt nun vorzugsweise darin, daß die durch den Rost einströmende Luft bei höherer Brennstoffschichte längere Zeit mit derselben in Berührung bleibt, dadurch wird der Sauerstoff derselben besser ausgenützt und der immer über das theoretisch notwendige Luftquantum vorhandene Überschuß an Luft verkleinert. Durch diesen als Balast zu erwärmenden Luftüberschuß wird die Menge der Ver-

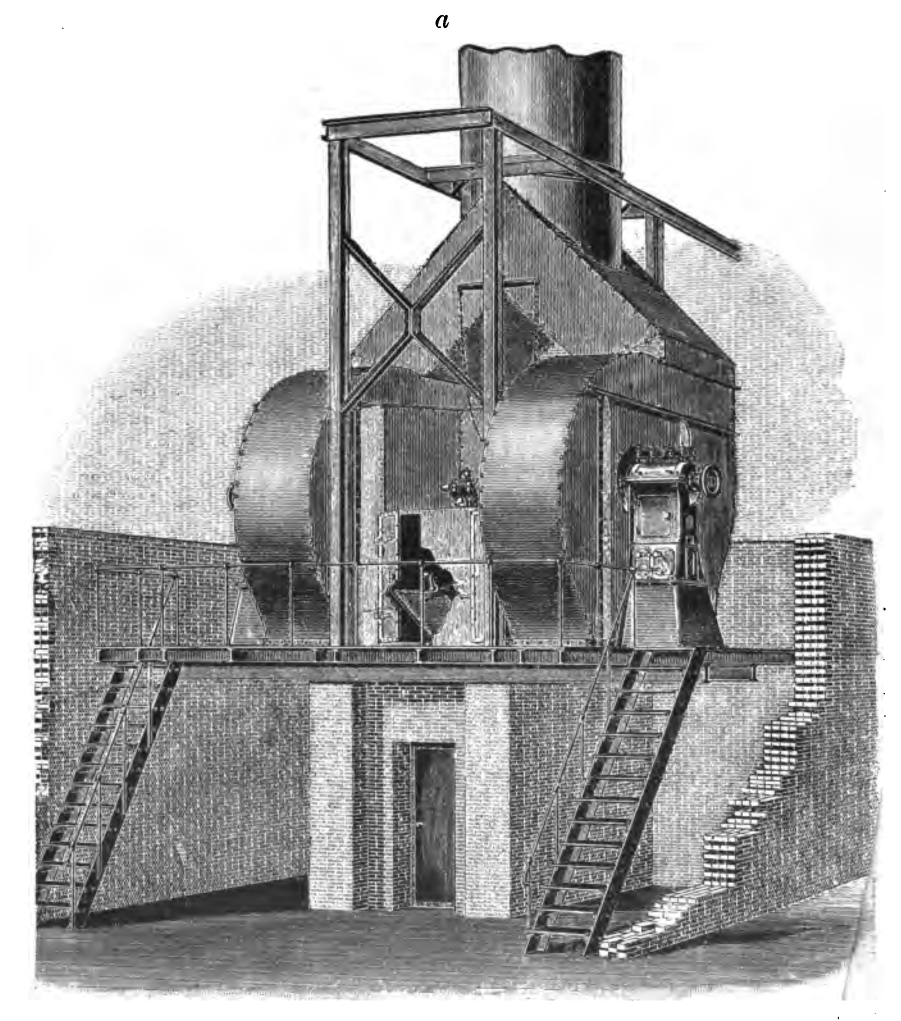
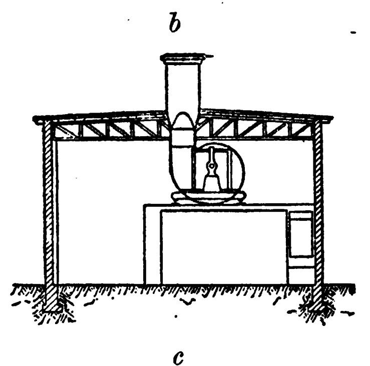


Fig. 12. Saugzuganlage mit zwei Ventilatoren.

brennungsprodukte eine größere und demzufolge die Temperatur derselben eine kleinere.

Bei künstlichem und stärkerem Zuge kann man also die Brennstoffschichte auch bei guter Verbrennung, innerhalb gewisser Grenzen, erhöhen, den Luftüberschuß dadurch erniedrigen und die Temperatur der Verbrennungsprodukte erhöhen; je heißer dieselben aber sind, desto besser geben sie auf ihren Wegen in den Feuerungsanlagen ihre Wärme ab. Die größeren Brennstoffschichten bei stärkerem regulierbarem Zuge haben also den Vorteil der besseren Verbrennung, geringeren Luftüberschuß, höhere Temperatur der Verbrennungsprodukte und dementsprechend eine bessere Wärmeausnützung. Man kann demnach beim künstlichen Zuge die auf dem Rost zu verbrennende Kohlenmenge außerordentlich steigern. Während man bisher z. B. bei Benützung einer Kohlengattung von 7000 bis 8000 W.-E. annahm, daß 1 m^2 Rostfläche nicht mehr als 100—110 *kg* Kohle entsprechend 700.000—900.000 W.-E. stündlich mit Vorteil verfeuern lasse, kann man diese Werte bei verstärktem Zuge noch um 30 bis 50% vermehren, ohne daß man eine Abnahme der Verdampfungsfähigkeit erwarten müßte. Aber es kann im Notfalle auch mehr als die doppelte und dreifache Kohlenmenge auf demselben Roste verfeuert werden.

b



c

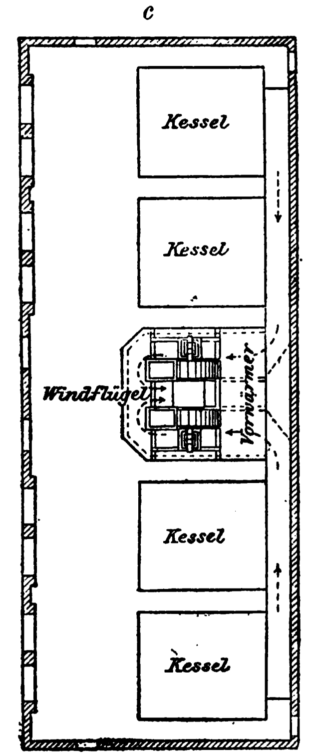


Fig. 12. Saugzuganlage mit zwei Ventilatoren.

Bei Anwendung mechanischen Zuges können auch Brennstoffe verfeuert werden, welche infolge ihrer gries- oder staubartigen Beschaffenheit, trotz höheren kalorischen Wertes und verhältnismäßig geringerem Preise, auf den gewöhnlichen Rosten gar nicht oder nur schwer gut zu verbrennen sind.

R. Schenkel faßt zum Schlusse die Vorteile des mechanischen Zuges in folgendem zusammen:

1. Geringe Anschaffungskosten.

2. Gute Ausnützung der Wärme der abziehenden Rauchgase.

3. Anwendbarkeit billigeren Brennstoffes.

4. Große, bis zum Dreifachen des Normalen steigerbare Dampfleistungen, daher Ersparnis an Kesselheizfläche.

5. Steigerung des Nutzeffektes der Kesselanlagen, also Kohlenersparnis.

6. Vermeidung der Entwicklung von dichtem, schwarzen Rauch.

7. Regulierbarkeit der Zugstärke nach Bedarf und in weitesten Grenzen.

8. Unabhängigkeit des Zuges vom Betriebe, von der Bedienung und von Witterungsverhältnissen.

9. Geringer Raumbedarf.

10. Möglichkeit der Einstellung von Hilfseinrichtungen (Vorwärmen, Überhitzen) ohne die sonst erforderliche Rücksichtnahme auf die Lage und die Abmessungen des Schornsteines.

Als einen zu Gunsten des Essenzuges vorzubringenden Gesichtspunkt läßt Schenkel bloß den Umstand gelten, daß derselbe nämlich zu seiner Erzeugung keine andere Kraftquelle bedarf als der Erwärmung der im Schornstein eingeschlossenen Luftsäule, während der mechanische Zug zum Betriebe der Ventilatoren Kraftantrieb oder Kraftübertragung benötigt. (Allerdings fällt nach Schenkel die von ihm durchgeführte Berechnung der Wirtschaftlichkeit der beiden Betriebsarten auch zu Ungunsten des Essenzuges aus.)[1]) Allein die Wichtigkeit dieses Momentes kann nicht genug hervorgehoben werden und es ist dabei in Betracht zu ziehen, daß die Zugerzeugung mittelst Essen keiner eigentlichen Betriebsstörung ausgesetzt ist und vollständig geräuschlos erfolgt.

Selbst wenn der Ventilatorbetrieb eine gewisse Rauchverminderung zur Folge hätte, ist der Betrieb mit den notwendig viel höheren Saugessen für die Umgebung hygienisch vorteilhafter und eventuell weniger unangenehm fühlbar, weil die Rauchgase, die ja neben Ruß etc. größere Mengen von Kohlensäure mitführen, auch gewisse, wenn auch kleinere Mengen von Schwefeldioxyd enthalten können, in höhere Luftschichten abgeführt werden und deshalb eine weit stärkere Verdünnung mit Luft erfahren, bevor sie unten anlangen und sich fühlbar machen können. Ist mit dem Ventilatorbetrieb aber keine Rauchverminderung verknüpft, wie ja tatsächlich mehrfach beobachtet[2]) und berichtet wurde, dann stößt der Ventilatorbetrieb mit den viel niedrigeren Abzugessen überhaupt in

[1]) Siehe auch Friedrich Toldt „Über künstlichen Zug". Separatabdruck aus der „Österreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen". XLVIII. Jahrg., 1900.

[2]) Siehe später über die Versuche in Nürnberg.

vielen Fällen auf Schwierigkeiten, da die Belästigung der Umgebung aus begreiflichen Gründen noch viel fühlbarer werden wird.

Den fast ausschließlichen günstigen Urteilen, welche Schenkel über den künstlichen Zug durch Ventilatoren entwickelt, treten in sehr entschiedener Weise mehrere der anerkanntesten, hervorragendsten Fachmänner, insbesonders Cario, entgegen. (Organ des Zentralverbandes der preußischen Dampfkessel-Überwachungsvereine, Berlin und Breslau, 1900, S. 82, 202, 427.) Er weist darauf hin, daß der Ventilatorbetrieb direkten Aufwand von Kraft und somit auch Geld erfordert, während der Schornstein eine gewissermaßen nur als Abfall zu bezeichnende Wärmemenge konsumiert, die zweckmäßig auf keine andere Weise ausgenützt werden kann. Mit dem warmen Wasser, Badewasser, wie es Cario drastisch nennt, das eventuell noch durch weitgehendste Ausnützung der Wärme der Rauchgase erzielt werden könne, erreiche man keine Vorteile bei der häufigen Notwendigkeit von Reparaturen, denen, nach seiner Anschauung, der in den 300—400° heißen, staubigen Gasen arbeitende Ventilator unterworfen sein wird, müsse man unbedingt einen Reserveventilator haben, und zwei Ventilatoren kosten zusammen ungefähr 0·8 soviel wie ein Schornstein von gleicher Leistung. Lästig sei das monotone Geräusch des Ventilators und selbst bei einsam gelegenen Fabriken sei das Ausströmen von Rauchgasen in niedrigen Luftschichten eine große Unzukömmlichkeit. Die höhere Zugstärke, welche man mittels Ventilatoren erzielen könne, entsprechend 15—30 *mm* Wassersäule, sei gar nicht notwendig, da man immer mit 8—10 *mm* Wassersäule vollständig ausreiche. Die höhere Zugstärke könne sogar den Nachteil haben, daß bei gewissen Brennmaterialien vieles unverbrannt mitgerissen wird [1]) und verloren geht. Bei dem möglichst geringen Luftüberschuß, den man vielleicht durch Ventilatoren erreichen könne, werde vielleicht der höchste Kohlendioxydgehalt in Rauchgasen, nämlich zu 17—18$^0/_0$ erzielt. Derselbe sei aber nicht ökonomisch der günstigste, weil in solchen Feuergasen schon Kohlenoxydgas enthalten sei, das einen bedeutenden Verlust bedeutet. Erfahrungsgemäß ist ein Kohlensäuregehalt von 15$^0/_0$, gemessen im Flammrohr hinter der Flamme, am günstigsten, ein Verhältnis, das man bei gewöhnlichen Schornsteinfeuerungen immer erzielen könne. Cario führt dann noch eine Anzahl von Argumenten gegen die Folgerungen Schenkels an. Auch der Umstand, daß bei künstlichem Zuge gewisse Brennmaterialien noch gut verbrannt werden können, nicht aber mit Schornsteinen, sei kein wesentlicher Vorteil, weil bei allgemeiner Einführung des Ventilatorzuges solche, jetzt minderwertige Brennstoffe,

[1]) Diese Befürchtungen speziell sind nach meinen eigenen Erfahrungen tatsächlich begründet.



wie Fein- und Staubkohle, infolge der größeren Nachfrage bald im Preise steigen würden. Auch die Verminderung oder gar Beseitigung des Rauches bei dem Ventilatorzug hält Cario für durchaus nicht erwiesen. (Auf die weitere Kontroverse zwischen Cario und Schenkel kann hier nicht eingegangen werden.)

Von Wichtigkeit sind zunächst die Versuche, welche der bayrische Dampfkesselrevisionsverein zu Nürnberg[1]) mit einer Dampfkesselanlage des dortigen städtischen Elektrizitätswerkes, welche mit einem Schornstein als auch mit einem Sturtewantventilator in Verbindung gebracht werden konnte, angestellt hat. Die zu den Versuchen verwendete Kohle war teilweise Nußkohle, teilweise ungewaschene Förderkohle. Der Dampfverbrauch des Ventilators in Prozenten des erzeugten Dampfes betrug bei

421	Umdrehungen	4·8%,
495	„	5·8%,
557	„	7·1%,
614	„	8·5%.

Die Kohlenkosten für die Erzeugung von 1000 *kg* Dampf stellten sich bei Ventilatorbetrieb, bei Berücksichtigung der einschlägigen Momente, mit 4·7% höher als bei Schornsteinbetrieb. Bei dem mit dem Ventilator erreichbaren stärkeren Zuge wurde zwar die Verheizung einer auch angewendeten, minderwertigen, stark grieshaltigen Kohle ermöglicht, ohne daß sich dabei die Dampfleistung (erzeugte Dampfmenge) der Kessel wesentlich verminderte, während anderseits die Verwendung einer solchen Kohle bei den vorliegenden Preisverhältnissen sich nicht als empfehlenswert herausstellte. Eine Verminderung der Rauchbildung wurde bei den Versuchen durch die Anwendung des Ventilators nicht erreicht.

Anknüpfend an diese in Nürnberg durchgeführten Versuche erörterte Chr. Eberle, München (Zeitschrift der bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines, 1900, S. 110), den Schornstein und Ventilatorzug in einem sehr übersichtlichen Aufsatze, in welchem er ebenfalls den für den mechanischen Zug so überaus günstigen Folgerungen Schenkels entgegentritt.[2]) Das bestimmtere Urteil, welches die Redaktion der genannten Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines über die Verwendung des künstlichen Zuges mit Rücksicht auf das Vorherbeschriebene sich bildete, erhellt am besten aus einer Antwort, welche im Jahrgang 1901, S. 34, links unten auf die Frage 45, ob sich eine Neuanlage von

---

[1]) Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines, 1900, S. 74. Bericht über vergleichende Versuche mit Schornstein und Ventilatorzug; sowie Chr. Eberle, München, ebendaselbst S. 100 u. 110, Schornstein und Ventilatorzug.

[2]) Es ist nicht der Ort hier, die mannigfachen andern pro und contra mechanischen Zug gemachten Veröffentlichungen und Diskussionen zu erörtern.

60 Pferdestärken mit Ventilatorzug ohne besonderen gemauerten Kamin herstellen läßt, erteilt wurde, dahingehend, es sei aus den früher zitierten Aufsätzen zu entnehmen, „daß künstlicher Zug nicht wohl in Frage kommen kann, wenn es sich um eine dauernde Anlage handelt."

Ich selbst habe in den Anlagen, in denen ich einen Zugbetrieb mit Ventilatoren zu beobachten in die Lage kam, meistens relativ günstige Urteile darüber gehört. Brennstoffe wie gebrauchte Knoppern, Gerberlohe und andere erschöpfte Gerbstoffmaterialien konnten besonders vorteilhaft nur mittels des Ventilatorzuges, und zwar mit möglichst wenig Rauchentwickelung, verbrannt werden. Ebenso wurde der Koksstaub in einer größeren Leuchtgasfabrik in einer daneben situierten Fabrik von Ammonsalzen mit befriedigendem Erfolge mittels Ventilatorbetriebes verheizt.

Die anfängliche Befürchtung, daß die Flügelräder der Saugventilatoren durch die zu hohe Temperatur der Essengase sehr leiden und dieselbe nicht dauernd vertragen könnten, ist durch die Erfahrungen der Praxis nicht gerechtfertigt worden, indem gut gebaute Ventilatoren bei Temperaturen von 300—500° Jahre hindurch anstandslos im Betriebe gestanden sind. Selbstverständlich müssen solche Ventilatoren entsprechend konstruiert sein und insbesonders für die fortwährende Kühlhaltung der Lager gesorgt werden. Ich selbst habe in einer größeren Färberei Mährens einen Saugventilator in Funktion gesehen, der die heißen Rauchgase, bevor sie in den Schornstein gelangten, noch in eine Kammer, in der ein Vorwärmer stand, hindurchpreßte, ohne daß nach den Mitteilungen des Besitzers eine Reparatur des Gehäuses oder der Flügel oder eine Reinigung von Ruß und Flugstaub innerhalb eines Jahres notwendig gewesen wäre.

Wenn man den von v. Reiche in seinem Werke ausgesprochenen Satz „der Zug sei unter allen Umständen möglichst stark" akzeptiert, so erhält man anscheinend zwar ein sehr wichtiges Argument für den künstlichen Zug, da nur mittels dieses große Zugstärken erzielt werden können. Es ist jedoch in Betracht zu ziehen, daß dieser Satz nur innerhalb gewisser Grenzen zutrifft und daß der für die Verbrennung der meisten Brennstoffe notwendige starke oder stärkste Zug auch durch den Schornstein bewirkt werden kann. Was nun die Rauchverhinderung oder -Verminderung durch den künstlichen Zug anbelangt, so sind die bisher bekannt gewordenen Urteile keineswegs günstig für den letzteren, obzwar in manchen Fällen und auch in mehreren von mir beobachteten wieder günstigere Verhältnisse vorhanden waren.

Derzeit läßt sich demnach über die Vorteile des mechanischen Zuges gegenüber dem Essenzug noch kein bestimmtes Urteil abgeben. Jedenfalls ist die allzu optimistische Auffassung von seinen Vorteilen

wohl hinsichtlich der ökonomischen Verhältnisse als auch hinsichtlich der Möglichkeit die Rauchbildung dadurch zu vermeiden oder mindestens stark herabzusetzen nicht begründet. Dagegen ist es ebenfalls nicht gerechtfertigt, dem mechanischen Zuge, insbesondere dem Saugzuge, alle Vorteile abzusprechen. Für die Verwendung minderwertiger oder staubförmiger Brennstoffe oder Brennwert besitzender Abfälle ist er, wie selbst seine Gegner zugeben, entschieden geeigneter und die Befürchtung, daß solche gegenwärtig geringwertige Abfälle im Falle der allgemeinen Einführung des künstlichen Zuges bald im Preise zu hoch steigen würden, wird sich in vielen Fällen nicht begründet erweisen, da es eine Reihe von Industrien gibt, die solche geringwertigere oder schwerer verbrennliche Brennstoffe oder Brennwert besitzende Abfälle selbst produzieren. Auch dort, wo es sich nicht um die Dampferzeugung zum Motorenbetrieb handelt, und wo der Dampfverbrauch ein sehr ungleichmäßiger ist, also in Färbereien, Bleichereien und vielen anderen Betrieben der chemischen Industrie sowie in elektrischen Anlagen für Beleuchtungszwecke wird der mechanische Zug aus den erwähnten Gründen in den meisten Fällen manche entschiedene Vorteile bieten. Tatsächlich habe ich ihn in den mir zugänglichen Betrieben in der Regel nur in diesen genannten Fällen, also in diesen Industrien eingeführt gefunden, dort aber fast nur günstige Urteile gehört.

Auch zur unmittelbaren Verstärkung des Essenzuges, in verschiedener unmittelbarer Verstärkung mit der Esse wurden mechanische Zugerzeuger verwendet und in dieser Richtung dürften sie zunächst vielleicht noch häufiger bei Vergrößerung bestehender Anlagen mit Essenzug herangezogen werden als zur ausschließlichen Zugerzeugung.

Louis Prat, ingénieur des arts et manufactures in Paris, hat einen Apparat geschaffen, welchen derselbe im „Le génie civil“ (29. Jänner 1898, S. 213) veröffentlichte. Der Prat'sche Apparat, welchen der Erfinder „cheminée reduite“ nennt, besteht aus einem schornsteinartigen Drucktransformator, welcher durch eine mit Drosselklappe ausgestattete Windleitung mit einem Ventilator in Verbindung steht. Die Einrichtung des Apparates ist in Fig. 13[1]) ersichtlich und dürfte eine weitere Erklärung derselben überflüssig sein. Toldt,[2]) der in Paris und Umgebung mehrere Anlagen, mit diesem Apparat ausgestattet, besichtigte, berichtet darüber wie folgt:

[1]) Die kleine in Fig. 13 mit dem Ventilator verbundene Esse ist hier in demselben Verhältnis zu dem großen Kamin daneben gezeichnet, wie es eventuell im Falle gleicher Zugerzeugung notwendig wäre.

[2]) Friedrich Toldt, „Über künstlichen Zug“, Separatabdruck aus der „Österreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen“, 1900, XLVIII. Jahrgang.



„Der Eindruck, den ich dabei von dieser Einrichtung gewonnen habe, ist der, daß man dort, wo man eine Esse verhältnismäßig billig herzustellen vermag, zu einer solchen ihrer Betriebssicherheit wegen greifen wird. An Orten hingegen, wo eine schwierige Fundierung der Esse nötig ist, welche mitunter große Kosten erfordert, wird der leichtere Prat-Apparat vorzuziehen sein. Wird bei einer bestehenden Anlage durch Zubauten ein stärkerer Essenzug nötig, oder stellt sich die vorhandene Esse überhaupt als zu schwach heraus, dann ist die Aufstellung eines Prat'schen Apparates zu empfehlen."

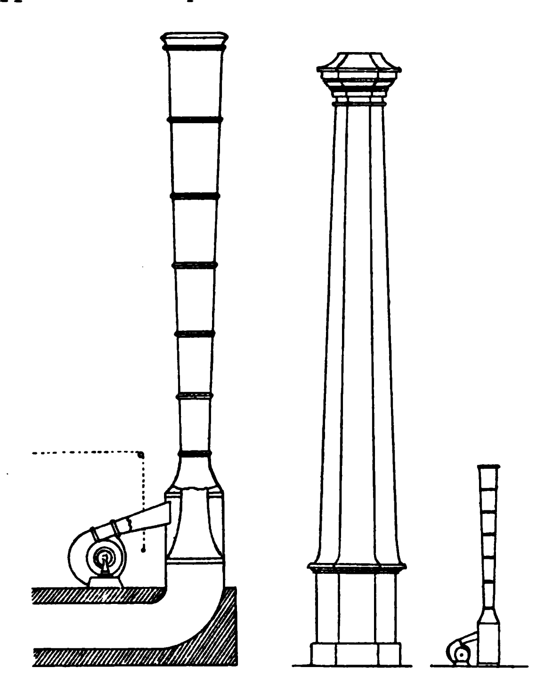


Fig. 13. Prats cheminée reduite.

Bei den besuchten Fabriksanlagen, welche Prat-Apparate besaßen, wurde Toldt mitgeteilt, daß die Verbrennung der Kohle eine vollständigere sei, so daß sich ein Brennstoffgewinn mit Einführung dieser Apparate herausgestellt habe. Der einfache Verbrennungsvorgang würde die Richtigkeit einer derartigen Voraussetzung, wenn sie durch die Praxis auch noch nicht bestätigt wäre, klarlegen. Es wirkt eben der Apparat ähnlich wie Unterwind.

Auch v. Doepp[1]) berichtet über den Prat'schen Apparat. Derselbe

[1]) Prof. G. v. Doepp, Die Dampfkessel auf der Weltausstellung in Paris, 1900, Freiberg i. S., Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner).

wird von dem Ingenieur Prat auch „Transformateur de pression“ genannt, weil die Druckluft des Ventilators eine Depression im Fuchs hervorruft. In Frankreich sei diese künstliche Zugverstärkung vielfach auf Fabriken angewandt und in Rußland gleichfalls auf einer Fabrik bei Noworossiisk. So z. B. ist in der Spinnerei Le Carpentier & Cie., bei Rouen, ein Schornstein von 45 *m* Höhe durch einen Transformator von 16 *m* Höhe bei einem Querschnitte von nur $^1/_{17}$ des Steinschornsteins ersetzt. Die erwähnte Spinnerei hat einen Kessel von 100 m^2 Heizfläche, welcher den Dampf für eine Maschine von zirka 300 HP liefert, während für den Betrieb des Ventilators nur 3—4 HP erforderlich sein sollen. Man ist mitunter gezwungen gewesen, den Ventilator in größeren Entfernungen (etwa 40 *m* von dem Schornstein) aufstellen zu müssen, wie z. B. auf der chemischen Fabrik Etaves, bei St. Quentin, was sich aber keineswegs für den günstigen Effekt als hinderlich erwiesen hat, da man trotz der bedeutenden Entfernung ein Vakuum von 25 *mm* erhielt. Genauere Versuche in der vorerwähnten Spinnerei haben den Beweis geliefert, das man bei dem künstlichen Zuge eine recht bedeutende Brennmaterialersparnis erzielen kann, indem die Verdampfung von 7·4 auf 8·1 erhöht wurde.

Ich halte jedoch diese Art der Verstärkung des Zuges bei einem gegebenen Schornstein durch Einblasen von kalter Luft weniger zweckmäßig als die Aufstellung eines saugenden Ventilators zwischen Feuerungsanlage und Schornstein und Abdrücken der heißen Rauchgase in den letzteren. Eine derartige zur Zufriedenheit funktionierende Anlage habe ich in einer großen Färberei Mährens angetroffen. Die von dem Ventilator angesaugten und zur Esse abgedrückten heißen Rauchgase passierten auf ihrem Wege zu dieser noch eine gemauerte Kammer, in der ein Vorwärmer eingebaut war, an dessen Inhalt sie noch einen Teil ihrer Wärme abgaben.

Messung der Zugstärke.

Zur Messung der Zugstärke, die fast stets in Millimetern Wassersäule angegeben wird, ist bereits eine große Anzahl von Apparaten vorgeschlagen und in Anwendung. Sie beruhen auf verschiedenen Prinzipien, zumeist auf dem des Manometers (kommunizierende Gefäße gleichen oder aber sehr ungleichen Querschnittes), dem des Dosenbarometers etc.

Auch selbstregistrierende, welche die Zugstärke während des ganzen Betriebes konstant graphisch nach Art des selbstregistrierenden Barometers darstellen, sind schon in Anwendung. Manche derselben sind deshalb relativ schon ziemlich kostspielig, doch kann man auch die einfacheren ganz zweckmäßig gebrauchen.

Als einfachsten Zugmesser verwendet Prof. Dr. F. Fischer[1]) ein *U*-Rohr, welches zur Erleichterung des Ablesens mittels kleiner Messingbügel *a* (Fig. 14) auf das Brett *A* befestigt ist. Hinter dem Rohre *BD* ist in einem Ausschnitte *n* ein kleiner Maßstab mit Millimeterteilung mittels des Knopfes *c* verschiebbar eingesetzt. Beim Gebrauch wird das Rohr etwa zur Hälfte mit gefärbtem Wasser oder Erdöl gefüllt, dann das Brett mittels zweier unten und oben eingeschraubter Ösen an eine Wand befestigt. Nun wird der Schenkel *D* mittels Gummistopfen und Glasrohr oder Gummischlauch mit dem Schornsteine verbunden, dann mittels des Knopfes *c* der Maßstab so verschoben, daß der Nullpunkt genau mit dem unteren Meniskus der Flüssigkeit in *B* zusammentrifft, und der Höhenunterschied beider Flüssigkeitssäulen abgelesen. Da hier keine Luft hindurchgesaugt wird, so kann man mittels dieser kleinen Vorrichtung selbst auf größere Entfernungen hin durch Einschaltung eines engen Bleirohres oder Gummischlauches die Zugstärke messen. Durch Lösen der Verbindung kann man sich jederzeit von der Richtigkeit der Angaben überzeugen.

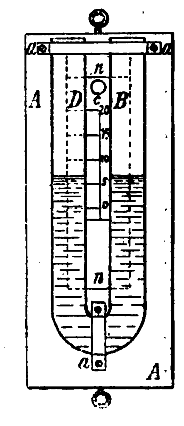


Fig. 14. Fischers Zugmesser.

Der Zugmesser von Scheurer-Kestner (Fig. 15)[2]) besteht aus einem Blechkasten, der durch den Stutzen *c* mit gefärbtem Wasser

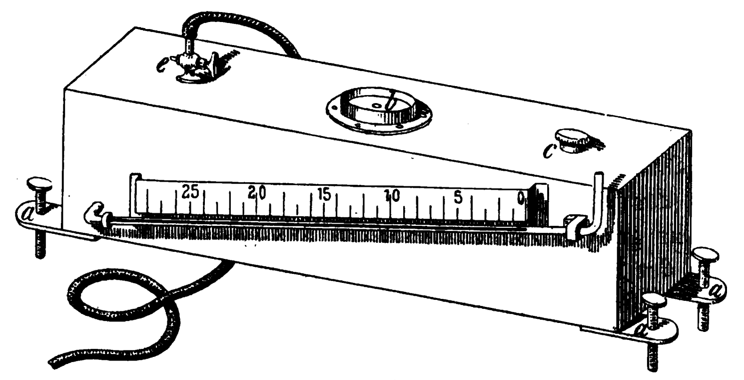


Fig. 15. Zugmesser von Scheurer-Kestner.

gefüllt und mittels der Stellschrauben *a* und der Dosenlibelle *b* genau wagerecht aufgestellt wird. Die Flüssigkeitsmenge ist so zu regeln, daß ihr Spiegel im Rohre *d* mit dem Anfangspunkte der Teilung zusammenfällt. Wird nun die Vorrichtung bei geöffnetem Hahn *e* mittels des

[1]) Fischer, Taschenbuch für Feuerungstechniker.

[2]) Becker, Eisenhüttenkunde, I., Feuerungskunde.

Gummischlauches und eines die Schornsteinmauer durchbohrenden Rohres mit dem Essenkanal in Verbindung gesetzt, so muß infolge der saugenden Wirkung desselben der Wasserspiegel in *d* fallen, in dem Kasten aber wegen dessen (gegenüber dem Rohre) unendlich großen Querschnittes nur unmeßbar wenig steigen. Die Verschiebung des Wasserspiegels, welche durch die schräge Stellung auf das Zehnfache vergrößert wird, zeigt demnach an der Teilung den Druckunterschied an.

Die Zeitschrift des bayrischen Dampfkesselrevisionsvereines 1899, S. 101, gibt die Beschreibung und Abbildung eines Zugmessers für Feuerungen, der die beiden Nachteile des gewöhnlichen, aus einer *U*-förmig gebogenen Röhre bestehenden Wassermanometers — Ablesung an zwei Skalen und enge Teilung — ebenfalls in geschickter Weise beseitigt und welchen die Firma Ww. Joh. Schumacher in Köln a. Rh. liefert. Wie die Fig. 16 zeigt, ist der an den Feuerzug anzuschließende Schenkel eine enge,

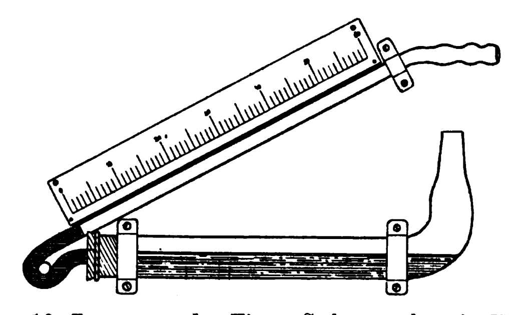


Fig. 16. Zugmesser der Firma Schumacher in Köln.

unter etwa 30° gegen die Horizontale geneigte Glasröhre, während der zweite Schenkel ein horizontal gelegtes weiteres Glasrohr ist. Da in letzterem der Wasserspiegel im Vergleich zum Querschnitt der engen Röhre sehr groß ist, kann der Stand des Wassers in derselben beim Benützen des Instrumentes als konstant angesehen werden, so daß die Skala einen festen Nullpunkt erhält. Durch die Neigung des Ablesungsröhrchens wird die Skala wesentlich vergrößert (bei 30° verdoppelt), so daß die Ablesungen mit größerer Genauigkeit und wesentlich bequemer als mit dem einfachen Wassermanometer gemacht werden können. Die Handhabung des Instrumentes ist dabei äußerst einfach. Nachdem dasselbe horizontal an seinen Bestimmungsort aufgehängt ist, wird Wasser bis zur Nullmarke eingefüllt und die Verbindung der geneigten Röhre mit den Zügen hergestellt.

Damit ist das Instrument, dessen Preis 8 Mark beträgt, zur Benützung fertig.

Auf anderem Wege sucht denselben Zweck einer genaueren Ablesung des Druckes das Differentialmanometer zu erreichen. Eine Form desselben ist der Seger'sche Zug- und Druckmesser, Fig. 17 (zu haben bei der Redaktion der Tonindustriezeitung, Berlin).[1])

Eine aus einem kalibrierten Glasrohr gebildete kommunizierende Röhre A läuft an ihren oberen Enden in zwei gleich weite größere Glasröhren B und C aus. Die kommunizierende Röhre BAC ist auf einem Brett befestigt, welches außerdem eine mit dem einen Schenkel parallel liegende, durch Schlitze aa und Stellschrauben bb verstellbare Skala D trägt. Die kommunizierende Röhre ist mit zwei sich nicht mischenden Flüssigkeiten von nahezu gleichem spezifischen Gewicht derart gefüllt, daß die Berührungsstelle x derselben in Nähe des Nullpunktes der Skala liegt.

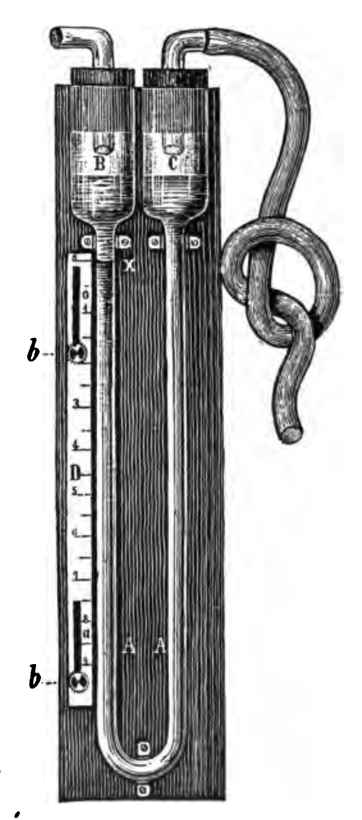


Fig. 17. Segers Zugmesser.

Als Flüssigkeiten zur Füllung können beispielsweise verwendet werden: Wasser und Anilinöl oder Solaröl und verdünnter Weingeist, von denen je eine Flüssigkeit am besten gefärbt wird. Der Apparat wird in der Nähe der Beobachtungsstelle an die Wand gehängt und bei Messung eines Überdruckes über die Atmosphäre der mit einem Pfropfen und Glasrohr versehene Schenkel B, bei Messung eines Niederdruckes aber der Schenkel C durch Kautschuk-, Glas- oder Metallröhren in Verbindung mit dem Raum gebracht, in welchem die Druckdifferenz beobachtet werden soll. Der andere Schenkel kommuniziert mit der Atmosphäre.

Ist der Apparat senkrecht angebracht und die Skala durch Verschieben in ihren Schlitzen so gestellt, daß ihr Nullpunkt auf die Berührungsstelle der beiden Flüssigkeiten fällt, und wird der eine Schenkel mit einem Feuerzuge, einer Gas-, Windleitung u. s. w. in Verbindung gebracht, so wird eine geringe Niveauverschiebung der Flüssigkeiten in den beiden weiteren Gefäßen B und C herbeigeführt. Die Niveauverschiebung wird in vergrößertem Maßstabe markiert durch eine Verschiebung der Berührungstelle der beiden sich nicht mischenden Flüssigkeiten in der engen Röhre A, und zwar im Verhältnis der Querschnitte des weiteren Gefäßes und der engeren Röhre. Es wäre beispielsweise das Querschnittsverhältnis der

[1]) Nach Lunge, Chem.-techn. Untersuchungsmethoden, I. Bd., S. 160.

Röhre *A* und der Gefäße *B* und *C* wie 1 : 20. Dann wird eine Senkung des Flüssigkeitsspiegels in *B* um 1 *mm* eine Verschiebung des Punktes *x* um 20 *mm* herbeiführen, so daß sehr geringe Niveaudifferenzen deutlich sichtbar gemacht werden können. Die Teilung der am Apparate angebrachten Skala ist entweder für relative Vergleiche eine empirische, oder aber für genauere Messungen auf Wasserdruck in Millimetern bezogen. Der Abstand der Teilstriche berechnet sich in letzterem Falle aus den Querschnittsverhältnissen der Röhre *A* und der Gefäße *B* und *C* und den spezifischen Gewichten der zur Füllung benützten Flüssigkeiten. Der Apparat ist um so empfindlicher und genauer, je größer das Verhältnis des Querschnittes der oberen Gefäße zu dem der engeren kommunizierenden Röhre ist, und je weniger die spezifischen Gewichte der zur Füllung verwendeten Flüssigkeiten voneinander abweichen.

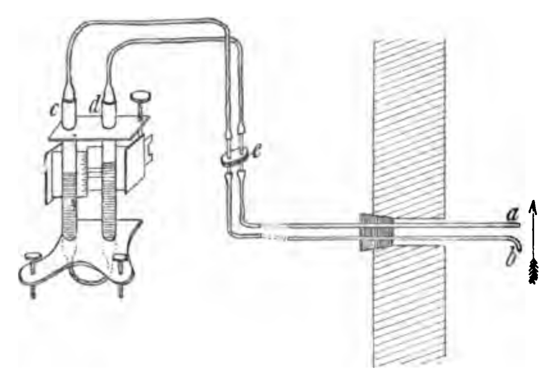


Fig. 18. Fletscher-Lunges Zugmesser.

Das dynamische Prinzip der Druckdifferenzmessung wird nach Péclet in der Art ausgeübt, daß man beide Schenkel des Manometers mit dem Gasstrome in Berührung bringt, aber die Mündung des einen Verbindungsrohres senkrecht zur Zugrichtung, die andere durch eine Umbiegung parallel in derselben Richtung gehen läßt. Man mißt also hier nicht den Unterschied des Druckes gegenüber dem der atmosphärischen Luft, sondern denjenigen zwischen dem statischen und dynamischen Drucke innerhalb des Gasstromes selbst, was eine sehr feine Messung ergibt und zur direkten Ermittlung der Geschwindigkeit des Gasstromes dienen kann.

Für diesen Zweck hat Fletscher ein Instrument konstruiert, das von Lunge[1]) verbessert und vereinfacht worden ist (Fig. 18). Vermittels eines Korkes sind zwei Glas- oder Messingröhren *a* und *b* luftdicht in ein entsprechendes Loch des Kanales oder Schornsteines, in

[1]) Lunge, Chem.-techn. Untersuchungsmethoden, I., S. 163.

welchem man die Geschwindigkeit des Gasstromes messen will, eingeführt, so daß ihre Enden um ein geringes weniger als ein Sechstel des Durchmessers des Kanales von dessen innerer Wandung abzustehen kommen. Das gerade endende Rohr *a* muß möglichst senkrecht zur Zugrichtung stehen. Das Rohr *b* muß so stehen, daß der Gasstrom in dessen gekrümmtes Ende gerade hineinbläst. Diese Röhren kommunizieren mittels Kautschukschläuchen mit dem *U*-Rohre *cd*, welches halb mit Äther gefüllt ist. Der Luftstrom bewirkt in *a* eine Luftverdünnung durch Ansaugen, in *b* eine Verdichtung durch Hineinblasen, folglich

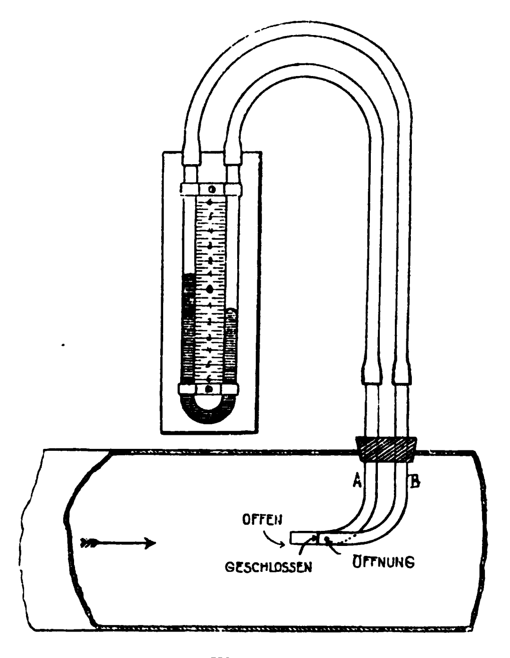


Fig. 19.

steigt der Äther in *c* und sinkt in *d*. Die Niveaudifferenz der Äthersäulen in *c* wird mittels einer Millimeterskala und eines Nonius gemessen. Wenn man das Umschaltungsstück *e* um 180° dreht, kommt *a* in Kommunikation mit *d* und *c* mit *b*; jetzt soll eine Niveaudifferenz in entgegengesetzter Richtung, aber genau gleich der zuerst beobachteten, entstehen, was zur Kontrolle der Beobachtung dient.

Eine ganz ähnliche in England[1]) verwendete Form eines Zugmessers zeigt Fig. 19. Rohr *A* ist vorne offen und kommuniziert außerhalb mit einem *U*-Rohr. Das andere Rohr *B* ist am Ende geschlossen, hat aber auf jeder Seite eine kleine Öffnung, so daß sein Inneres mit dem sich

[1]) Sturtevant etc., Mechanical Draft, S. 165.

in der Pfeilrichtung bewegenden Rauchgasstrom kommuniziert und eine gewisse Luftverdünnung durch denselben erfolgt, die sich außerhalb im Manometer-*U*-Rohr fühlbar macht.

Der selbstregistrierende Zugmesser der Sturtevant Comp. besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen (Fig. 20). In dem ersten, einem kleinen Zylinder, vibriert eine sehr elastisch-biegsame Membrane unter dem Einfluße des „Zuges" und diese Bewegungen werden ähnlich wie bei einem Dampfmaschinenindikator übertragen und multipliziert

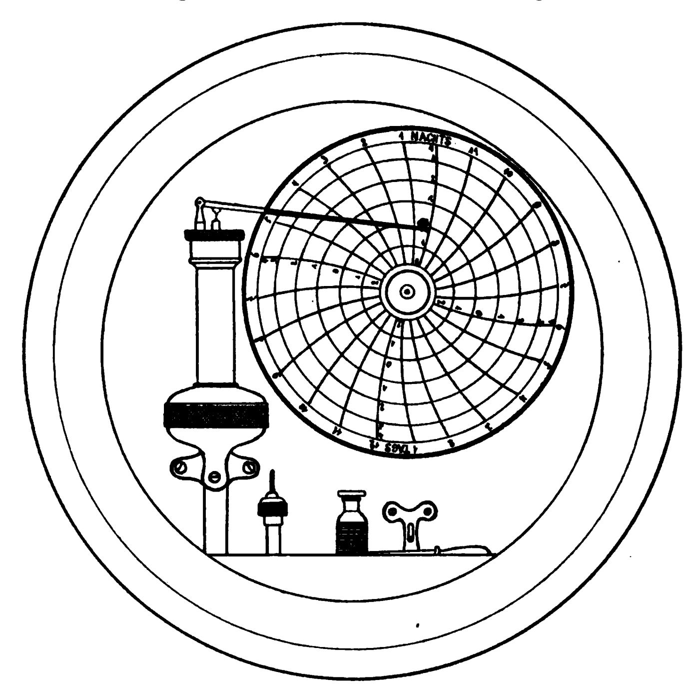


Fig. 20. Selbstregistrierender Zugmesser der Sturtevant Comp.

durch einen sehr ungleicharmigen Hebel, an dessen längerem Arm ein Tintenstift befestigt ist, der über eine entsprechend gezeichnete Registerscheibe, die durch ein Uhrwerk bewegt wird, fährt und dadurch für jede Zeit des Betriebes den herrschenden Zug in englischen Zoll Wasser angibt.

Ein bekannter Zugmesser auf einem anderen Prinzipe beruhend ist der von Walther Dürr in München, zuerst beschrieben gelegentlich der Vorführung des Siegert & Dürrs Dasymeter (siehe später).

Die Konstruktion des Instrumentes ist aus den beiden Abbildungen Fig. 21 *a* und *b* leicht ersichtlich. In einem gußeisernen Gehäuse befindet sich eine bewegliche, auf einer Schneide ruhende und mit einem Gegen-

gewicht ausgeglichene Glocke, welche in eine Sperrflüssigkeit eintaucht. — Als solche hat sich infolge seiner Unveränderlichkeit gereinigtes Paraffinöl vorzüglich bewährt. In den Hohlraum der Glocke, durch das Bassin hindurch, in welchem sich die Sperrflüssigkeit befindet, mündet ein Röhrchen, an dessen unterem Ende bei *a* im Ansatzstutzen des Gehäuses ein Anschluß für ein weiteres zirka $^3/_8$″ Gasrohr vorgesehen ist. Das hier dicht angeschlossene Leitungsrohr wird in die Kesselzüge, und zwar an jener Stelle eingeführt, wo die Geschwindigkeit der abziehenden Feuergase gemessen werden soll. Sobald nun am freien Ende dieses Leitungsrohres ein Vakuum oder auch ein Luftzug vorhanden ist, so pflanzt sich der hierdurch erzeugte Spannungsunterschied

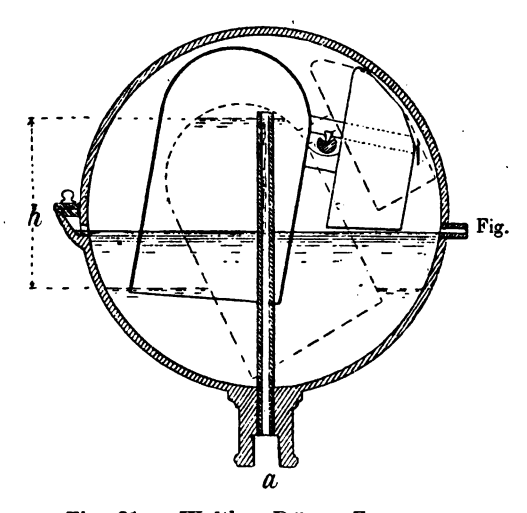


Fig. 21 *a*. Walther Dürrs Zugmesser.

fort und wirkt auf die Glocke, welche infolgedessen eine kippende Bewegung annimmt, die mittels eines sogenannten Mitnehmers auf einen Sektor übertragen wird, welcher in das Zahnrädchen des Zeigers eingreift. Das Zifferblatt ist empirisch mit größter Sorgfalt nach Millimeter Wassersäule eingeteilt, woran Zehntelmillimeter noch sehr leicht abgelesen werden können. Das Instrument findet seine Stelle für den Heizer am besten oben an der Stirnwand des Kessels, woselbst es mit Hilfe des beigegebenen Konsolflansches sehr leicht befestigt werden kann. Walther Dürrs Zugmesser wird auch von der Firma G. A. Schultze in Berlin SW., Schönebergstraße 4, in Form eines selbstregistrierenden Apparates verfertigt, dessen Konstruktion im wesentlichen aus Fig. 22 ersichtlich ist. (Betreffs Anbringens und Inbetriebsetzung des Instrumentes siehe Anweisung und Prospekt der genannten Firma.)

Andere mir speziell bekannt gewordene Zugmesser sind der von der Manometerfabrik Max Schubert, Chemnitz i. S., Bernhardstraße Nr. 40, dann Zugmesser Patent Hörenz, Maschinenfabrik, Dresden-A., Zugmesser System Rohkohl, Otto Bohlecke Nachf. (Inhaber Schacht & Rohkohl), Magdeburg-Buckau etc. Selbstverständlich können nicht alle in Anwendung stehenden, wenn auch befriedigenden funktionierenden Zugmesser hier beschrieben werden.

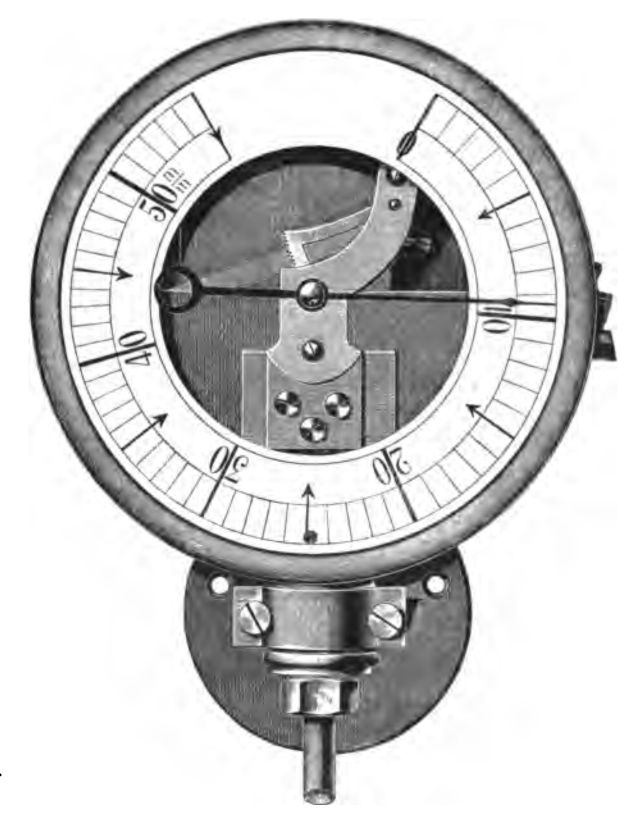


Fig. 21 *b*. Walther Dürrs Zugmesser.

Über die Verwendung der Zugmesser, namentlich ihrer in der letzten Zeit immer komplizierter und damit auch kostspielig werdenden Formen äußert sich Cario in der Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines 1899, S. 115, in folgender Weise: Er hält den einfachsten Zugmesser in Form eines U-förmigen Glasrohres und einem entsprechenden Millimetermaßstabe für vollständig ausreichend und widerlegt die mehrfach ausgesprochene Annahme, nach welcher für eine bestimmte Feuerung eine ganz bestimmte Zugstärke allein richtig und wirtschaftlich sei,

weshalb jeder geschickte Heizer die Zugstärke je nach den gegebenen Verhältnissen häufig zu regulieren verpflichtet ist. Cario empfiehlt die Anfertigung einer Skala der Schieberstellungen, an welcher mittels eines an der Schieberkette oder dem Schiebergewichte angebrachten Zeigers der jeweilige Stand des Schiebers und die entsprechende Zugstärke abgelesen werden kann. Diese Skala kann einfach dadurch hergestellt werden, daß man den Essenschieber ganz schließt und die Stelle des Zeigers in dieser Lage als Null bezeichnet. Man bringt nun die Feuerung mit einem Zugmesser in Verbindung, hebt den Schieber sukzessive so

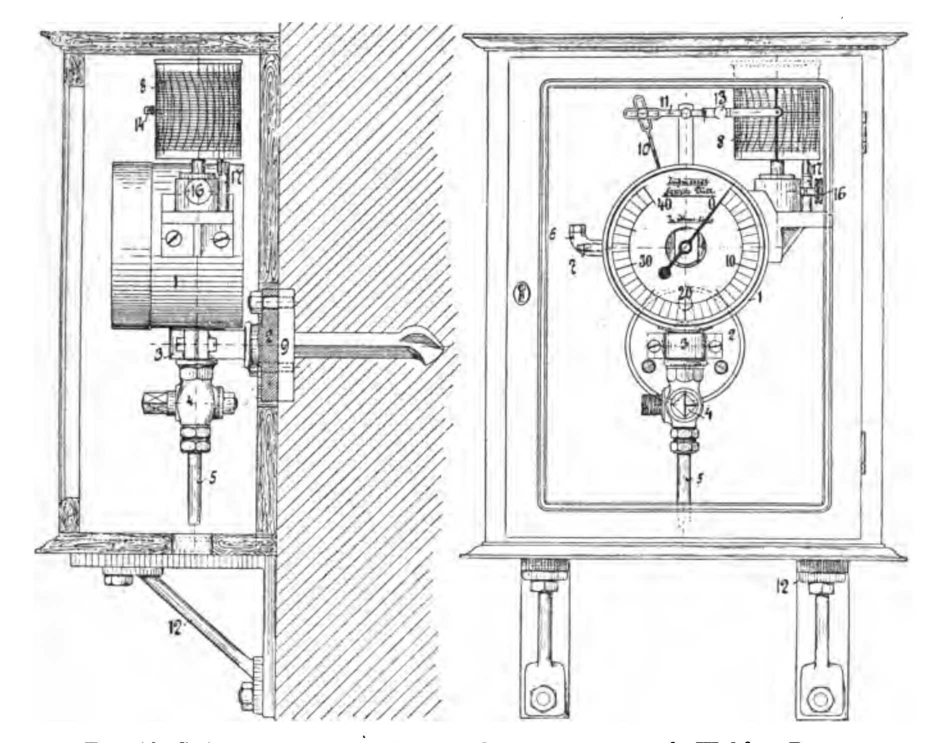


Fig. 22. Schultzes selbstregistrierender Zugmesser nach Walther Dürr.

weit, bis der Zugmesser einen Zug von 1 *mm* Wassersäule anzeigt, bezeichnet die Stellung des Zeigers nun mit 1 und setzt dies, den Zug um 1 *mm* allmählich vermehrend, fort, bis der Schieber vollständig hinaufgezogen worden ist. Die Abstände der einzelnen Teilstriche werden selbstverständlich nicht gleich sein (was den Toldtschen Behauptungen über die Regulierungsfähigkeit durch den Schieber vollständig entspricht). An einer solchen Skala hat nun der Heizer einen Zugmesser und dementsprechend auch einen Anhaltspunkt für die Regulierung des Zuges. (Auf eine Menge speziell für den Heizer sehr

wichtiger Details kann in diesem Aufsatze nicht eingegangen werden.) Cario sagt dann: Eine Feuerung arbeitet noch rationell, wenn ihre Zugstärke im Verbrennungsraume gemessen 2—10 *mm* Wassersäule beträgt. Steinkohle muß mit den höheren Zugkräften 5—10 *mm*, auch noch darüber, verbrannt werden, leichtere Brennmaterialien aber wie Braunkohle, besonders aber auch Briketts daraus, Holzspäne, Torf u. s. w. sollen mit den niedrigeren Zugkräften behandelt werden. Wenn irgend tunlich, soll man dabei nicht über 5 *mm* Wassersäule gehen. Cario widerlegt dann die Anschauung, daß der Zugmesser dazu da sei, um eine zu große Zugstärke zu vermeiden, bei welcher ein zu großer Luftüberschuß in das Feuer kommt. Der Luftüberschuß kann mit dem Zugmesser nicht bestimmt werden, da man ja auch bei sehr starkem Zuge und einer gleichzeitig hohen Kohlenschichte die rascher einströmende Luft, beziehungsweise den Sauerstoff derselben doch möglichst gut ausnützen könne. Nach ihm könne ein Heizer, der der Sache nach Heizer ist, auch ohne kompliziertere Apparate schon nach der Beschaffenheit des Feuers einen Luftüberschuß oder einen Luftmangel beurteilen. (Auf diesen speziell in Österreich sehr wichtigen Punkt werde ich später nochmals zurückkommen. D.)

Über die empirische Beurteilung der Zuggeschwindigkeit äußert sich die Bergwerksdirektion in Saarbrücken in einem Artikel der Zeitschrift der preußischen Dampfkessel-Revisionsvereine, 1896, S. 168.

„Ohne alle Apparate läßt sich die angemessene Zuggeschwindigkeit in einer Kesselfeuerung durch Beobachtung der Flamme feststellen: berührt dieselbe den Scheitel der Rohre nicht, sondern geht fast horizontal über die Brennschicht weg, dann ist, wie durch vielfache Messungen von dem Unterzeichneten festgestellt worden ist, die Depression zu stark und die Gase gehen unausgenützt in den Schornstein. Berühren die Feuergase aber annähernd den Scheitel der Rohre, dann hat man die Gewißheit, daß die Wärmeabgabe regelrecht von statten geht und eine möglichste Ausnützung der Kohle stattfindet. In letzterem Falle ergibt sich am Rauchschieber eine Depression von 4—10 *mm*, und die am Ende des Kessels abgehenden Gase werden in den seltensten Fällen 250° C. erreichen. Hierbei ist jedenfalls die Gesamtlänge der Züge respektive die Länge des Kessels mit 8 *m* berücksichtigt.“

Regulierung des Zuges.

Die Regulierung des Zuges ist für den rationellen Verlauf des Feuerungsprozesses von größter Wichtigkeit. Wie schon aus früher angegebenen Gründen ersichtlich ist, bedarf man bei jedem primären, nicht entgasten Brennstoff, sei es nun Steinkohle, Braunkohle, Torf oder Holz,

mit Rücksicht auf die wasserstoffreichen Entgasungsprodukte während der ersten Phase der Verbrennung bedeutend mehr Luft zur Verbrennung als später bei der Verbrennung des kohlenstoffreicheren, glühenden Rückstandes. Würde man nun z. B. während des ganzen Verbrennungsprozesses immer eine bestimmte Quantität Luft zum Brennmaterial zutreten lassen, so würde dieselbe möglicherweise anfangs nicht genügend zur völligen Verbrennung der Entgasungsprodukte sein, und würden solche noch zum Teil unverbrannt aus der Feuerung abströmen, während später schon ein überflüssig hoher Luftüberschuß vorhanden sein könnte. Aber auch ein zu großer Luftüberschuß am Anfange des Verbrennungsprozesses kann durch zu starke Abkühlung des ersten Teiles des Verbrennungsraumes unter die Entzündungstemperatur einzelner Entgasungsprodukte sehr nachteilig werden. Der Zug muß verschieden sein, je nachdem man z. B. magere Steinkohle oder eine sogenannte bitumenreiche, d. h. solche, welche viel Entgasungsprodukte liefert, verheizt; er muß verschieden sein nach der Art der Rostanlage und je nachdem man temporär mit niedriger oder höherer Brennstoffschichte zu arbeiten sich veranlaßt sieht.

In gewöhnlicher Weise geschieht die Regulierung des Zuges durch einen Schieber (Register) oder durch eine Drehklappe, welche vor der Einmündung des Fuchses in die Esse angebracht sind. Der Schieber besteht gewöhnlich aus einer Guß- oder Blechplatte, welche in zwei seitlichen Führungen geleitet und mittels einer Kette und eines Gegengewichtes in vertikaler Richtung auf- und abbewegt werden kann. Diese Einrichtung hat den Nachteil, daß sich die Platte durch die Hitze leicht verzieht und in den Führungen staut, so daß ihre Auf- und Abbewegung erschwert oder verhindert wird. Durch die, wenn auch kleine Mauerschlitzöffnung, in welcher der Schieber sich auf- und abbewegt, kann auch eine gewisse Quantität kalter Luft einströmen, welche immerhin nicht ohne Einfluß auf den dynamischen Effekt des Schornsteines ist, der ja bekanntlich nach eingangs angegebener Gleichung mit der Temperatur der abströmenden Gase in Beziehungen steht.

Für die Bedienung besser sind schon Drehklappen, welche ihre Achse entweder in der Mitte oder an einem Ende haben. Die Regulierung des Registers oder der Drehklappen soll selbstverständlich womöglich vom Heizerstande aus durchführbar sein. Ob die Zugregulierung die richtige und den jeweiligen sich ändernden Verhältnissen ganz entsprechend ist, läßt sich außer manchen praktischen Regeln exakt nur aus der Zusammensetzung der Rauchgase, beziehungsweise unter gewissen Voraussetzungen aus dem Kohlensäuregehalt derselben beurteilen und soll dieses Kapitel später eingehender erörtert werden.

Was den Rauchschieber anbelangt, so spricht sich Toldt (Regenerativgasöfen etc., Leipzig, Verlag von Arthur Felix, 1898) sehr ungünstig über die Zugregulierung durch denselben aus und sucht in einer längeren Ausführung dieses sein Urteil, daß er übrigens auch aus praktischen Erfahrungen schöpft, zu beweisen. Bei wenig geöffnetem Schieber wird durch die Zurückschleuderung der an die Schieberplatte anstoßenden und auf den Boden des Rauchkanals fallenden Gasteilchen ein Gaswirbel entstehen, welcher in Verbindung mit den großen Reibungswiderständen, die beim Passieren des Gasstromes durch den stark verkleinerten Querschnitt auftreten, die Gasbewegung derart behindern können, dass bei wenig geöffnetem Schieber überhaupt kein Durchgang der Essengase erfolgen wird. Der Essenschieber wird daher bis zu einer gewissen Höhe geöffnet werden müssen, damit überhaupt irgend ein Essenzug zustande kommt. Unbedeutende Vergrößerungen der Höhe des freien Querschnittes, also geringere Hebungen des Essenschiebers im Rauchkanal werden schon die abgezogene Essengasmenge unverhältnismäßig vermehren. Toldt sagt deshalb: Eine empfindliche Regulierung des Essenzuges auf dem ganzen Querschnitt der Esse ist daher nur in der Esse selbst möglich und sie wird am besten wirken, wenn der hierfür bestimmte Apparat am Essenkopf angebracht wird. Die Elektrizität könnte als bewegende Kraft für den Mechanismus desselben in Aussicht genommen werden.

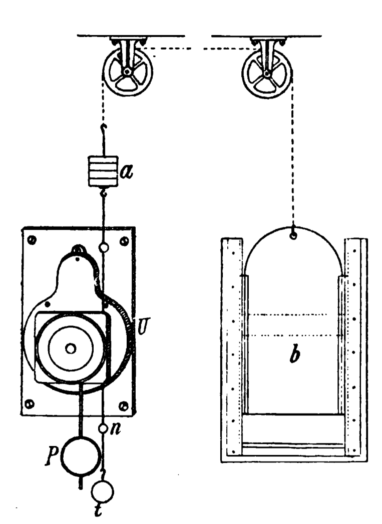


Fig. 23. Jespersens Zugregler.

Von der Tatsache ausgehend, dass jeder primäre Brennstoff anfangs ein bestimmtes Luftvolumen zu seiner Verbrennung braucht, welches in dem Maße, als die Entgasung und die Verbrennung fortschreitet, immer kleiner wird, hat man schon seit längerer Zeit verschiedene sogenannte Zugregler konstruiert und angewendet, welche den Zweck haben, den Rauchschieber nach einer jeden frischen Beschickung des Rostes mit Brennstoff ganz aufzuziehen und in dem Maße, in welchem wegen der abbrennenden Kohlenschichte der Luftbedarf kleiner wird, langsam niedersinken zu lassen.

Einer der ältesten dieser Apparate ist der von V. L. Jespersen in Rykjöbing[1]) (Fig. 23). Der Rauchschieber *b*, durch Gegengewicht *a*

[1]) Siehe Luegers Lexikon der gesamten Technik, IV Bd., Feuerungsanlagen,

größtenteils ausbalanziert, hängt in dem Uhrwerk *U*, welches durch den Rest des Rauchschiebergewichtes angetrieben und durch Pendel *p* gehemmt wird, und den Schieber allmählich heruntersinken läßt, sobald dieser an der Kugel *t* nach Schluß der Feuertür aufgezogen worden ist. Durch Einstellung der Pendellinse auf der Pendelstange kann die Periode des Schieberschlusses verlängert oder verkürzt werden. Beim automatischen Zugregler von Speckbötel[1]) hängt der Kaminschieber mittels Kette und Kolbenstange an dem durchlöcherten Kolben eines Ölkataraktes und zieht bei seinem Sinken den letzteren nach oben; durch ein Drosselungs-

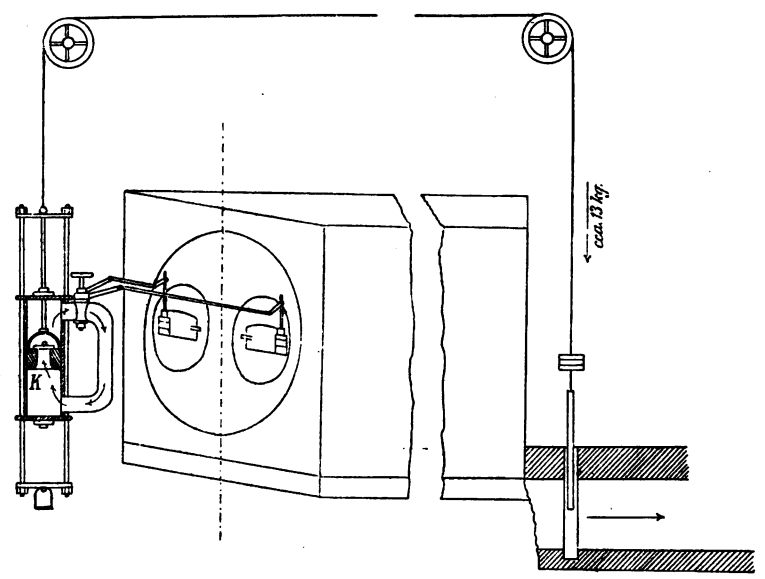


Fig. 24. Speckbötels Zugregler.

organ kann der Flüssigkeitswiderstand beliebig vermehrt oder vermindert werden. Öffnet man die Feuertüre, so wird mittels Hebelübertragung das Drosselungsorgan geöffnet, der Flüssigkeitswiderstand also auf ein Minimum gebracht, der Kaminschieber sinkt rasch in seine unterste Stellung (sperrt den Zug ab). (Siehe Fig. 24.)

Nach dem Aufgeben der Kohlen auf den Rost schließt man die Türe und stellt dadurch den Ölkatarakt auf größten Widerstand; hierauf zieht man mittels des unter dem Katarakte befindlichen Fußtrittes den Kolben ganz nach unten, den Schieber also nach oben und überläßt nun den vorher auf richtige Geschwindigkeit eingestellten Apparat sich selbst:

S. 233, bearb. v. Cario. Dieses in knappster Form, aber ganz vorzüglich gearbeitete Kapitel sei jedem angehenden Feuerungstechniker aufs beste empfohlen. D.

[1]) Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionvereines, 1897, S. 40.

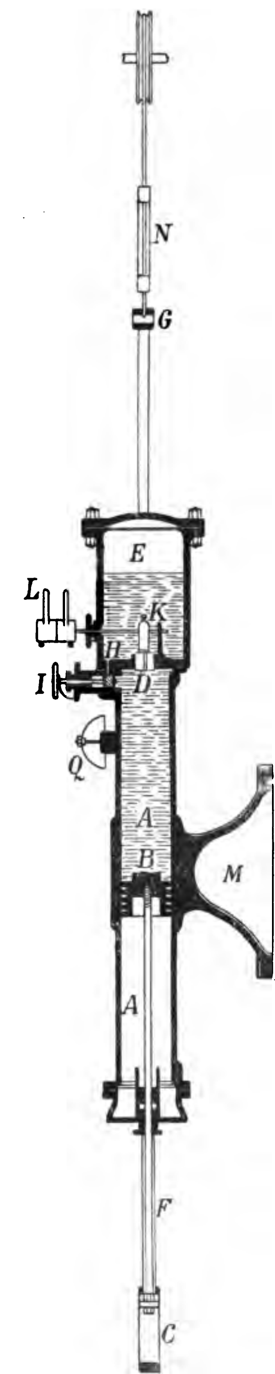


Fig. 25 *a*. Walters Zugregler.

der Schieber wird sich am Anfange langsam, dann allmählich immer schneller schließen.

Der Walter'sche[1]) Zugregler (Fig. 26 *a* und *b*) besteht aus einem Cylinder *A*, genau ausgebohrt, in welchem ein Kolben *B* (nach schwedischem Muster) gleitet, der dicht schließt, und an dessen Kolbenstange nach unten geführt sich ein Pedal *C* befindet. Das Oberteil des Cylinders trägt ein Ventil *D*, welches sich von oben nach unten öffnet und die Verbindung mit einem Behälter *E* vermittelt, das durch einen aufgeschraubten Deckel geschlossen ist.

Das Pedal *C* ist durch zwei Stangen *F* mit einer Traverse *G* verbunden, an welcher die Kette des Rauchschiebers angeschlossen ist: oben seitlich im Cylinder befindet sich eine kleine Öffnung *H*, die mit dem ölgefüllten Reservoir *E* in Verbindung steht. Ein Ventil *I* regelt die Weite des Durchlasses bei einem Spiel des Apparates. Diese Anordnung gestattet vermittels des Ventiles *D* eine mehr oder weniger weite Verbindung der beiden Räume *A* und *E* herzustellen. — Im Innern von *E* ist ein Hebel angebracht, welcher auf einer Welle mit einer oder mehreren Kurbeln sitzt, die mit den Feuertüren durch Zugstangen verbunden sind. Der Hebel wirkt auf das Ventil *D* und zwingt es im Moment des Öffnens der Türen nach unten zu gehen. Dies bewirkt die Verbindung des Reservoirs *E* mit dem Cylinder *A*. Der Bock *M* ist am Mauerwerk des Kessels befestigt. Betriebsweise: Wenn der Rauchschieber geschlossen oder bis zur erforderlichen Höhe nach Verbrennung einer Charge Kohlen gestellt ist, so befindet sich der Kolben an seinem höchsten Ende, und alles Öl steht im Reservoir *E*. Beim Öffnen der Feuer-

[1]) Mitteilungen etc. Organ der preußischen Dampfkessel-Überwachungsvereine, 1901, S. 554 u. w. — Ich hielt es für zweckmäßig, an der seitens der Erfinder selbst oder der ersten Autoren gegebenen Beschreibung dieser Apparate nichts zu ändern.

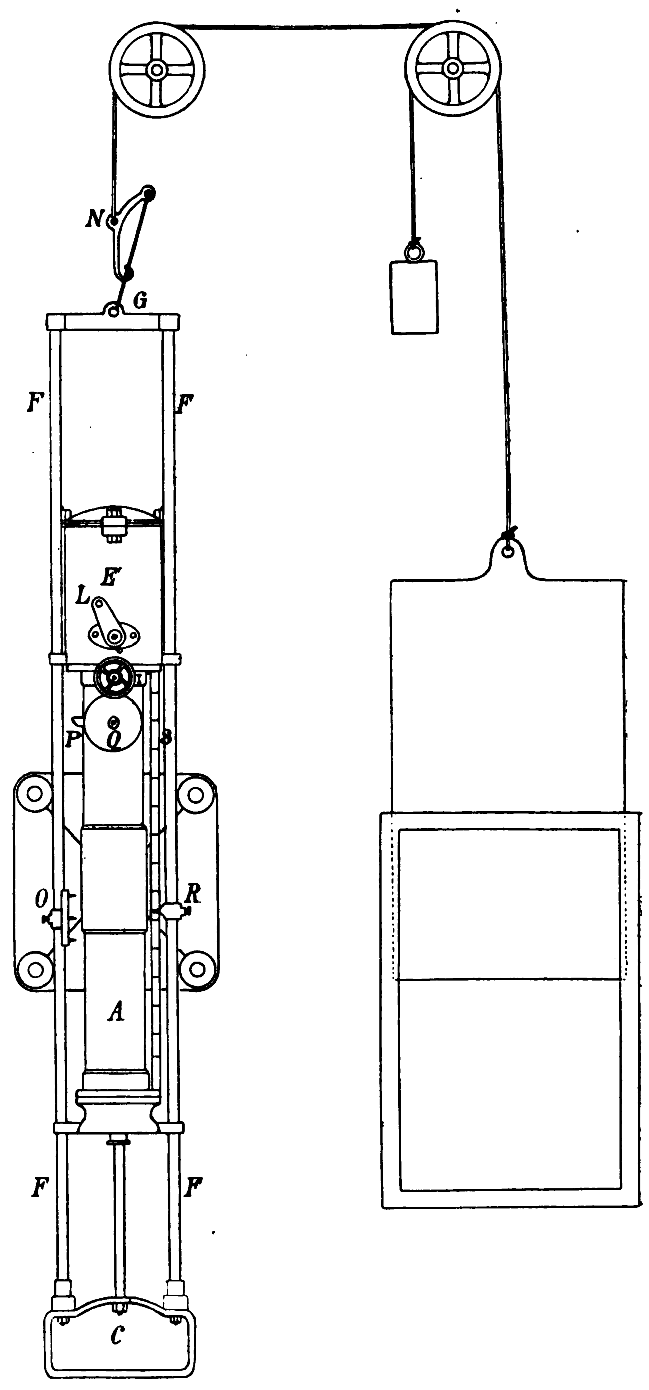


Fig. 25 *b.* **Walters Zugregler.**

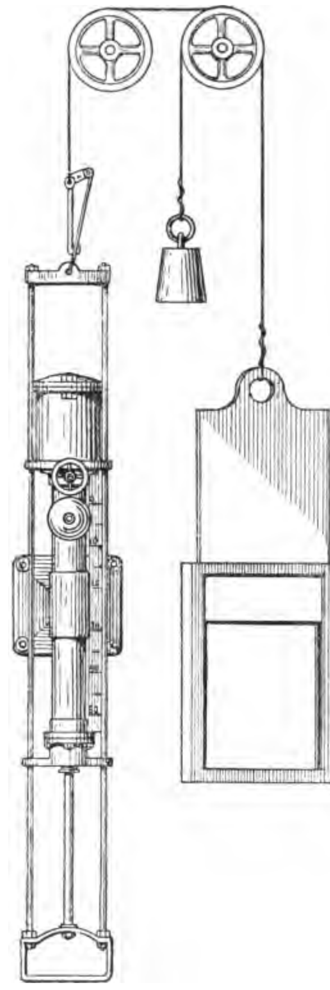


Fig. 26 *a*. Zugregler Patent Walter-Maaz.[1])

tür für eine neue Beschickung öffnet wieder der Hebel *K* des Ventils *D*. Wenn in diesem Moment der Rauchschieber nicht geschlossen ist, so steigt der Kolben infolge der Öffnung des Ventils und der Rauchschieber senkt sich; derselbe soll also nicht zu gleicher Zeit mit der Feuertür offen sein.

Nach Beschickung des Rostes und *L* Schließen der Feuertür setzt der Heizer seinen Fuß auf das Pedal und läßt dasselbe rasch hinunter gehen; er führt dadurch den Kolben abwärts, was einem vollen Öffnen des Rauchschiebers entspricht. Der Kolben würde hier ruhig verbleiben, wenn man nicht vorher den Verschluß *I* geöffnet hätte, durch welchen das Öl nach dem Reservoir *E* zurückkehren kann. Diese Öffnung wird so reguliert, daß man das Öl mehr oder weniger schnell zurücktreten lassen kann, gedrängt durch den Kolben *B*, welchen das Eigengewicht des Schiebers bewegt; der Schieber schließt sich dann allmählich mit einer Schnelligkeit, welche der Öffnung des Verschlusses *I* entspricht. Um zu verhindern, daß der Heizer den Schieber voll offen läßt, indem er das Verschlußventil nicht öffnet, ist die Traverse *G* mit der Kette, die zum Rauchschieber führt, mittels eines Ausrückers *N* verbunden, welcher in Funktion tritt, sobald der Kolben in seiner Aufwärtsbewegung behindert wird. Das Feuer auf dem Roste wird damit gedämpft. Wenn der Verbrennungsprozeß ein regelmäßiger ist, so kann man für eine bestimmte Zeit die Öffnung des Verschlußventils vorausbestimmen sowie die Dauer des Aufstieges von Ölkolben und Herabsinken des Rauchschiebers. Für diesen Fall bringt man an einer der Zugstangen *F* einen Anschlag *O* an, dessen Stellung man anzeichnet; dieser stößt auf einen Daumen *P*, wodurch eine Klingel *Q* ertönt, die dem Heizer das Zeichen zum neuen Anlegen von Brennmaterial gibt. — Die andere Zugstange kann mit einem Zeiger *R*

---

[1]) Zugregler Patent Walter-Maaz (Fig. 26 *a* und *b*) nach Prospekt und Abbildung durch Ingenieur Rudolf Pietsch in Wien, XII./4.

versehen werden, welcher beständig die Öffnung des Schiebers auf einer graduierten Skala angibt. — Bei forciertem Betriebe und einem wechselnden Dampfverbrauch kann man dann mittels des Hebels K und des Ventils D jeden Augenblick den Schluß des Rauchschiebers bewirken. —

Sollte infolge großer Dimensionen der Rauchschieber sehr schwer ausfallen und die Handhabung des Pedals erschweren, so kann man durch ein Gegengewicht einen Teil seines Gewichtes aufheben und die Handhabung desselben erleichtern.

Ein bekannter und mehrfach bewährter Zugregler ist der von Otto Hörenz (Maschinenfabrik), Dresden. Fig. 27 *a*, *b* und *c*.[1])

Derselbe wird in zwei Typen geliefert:

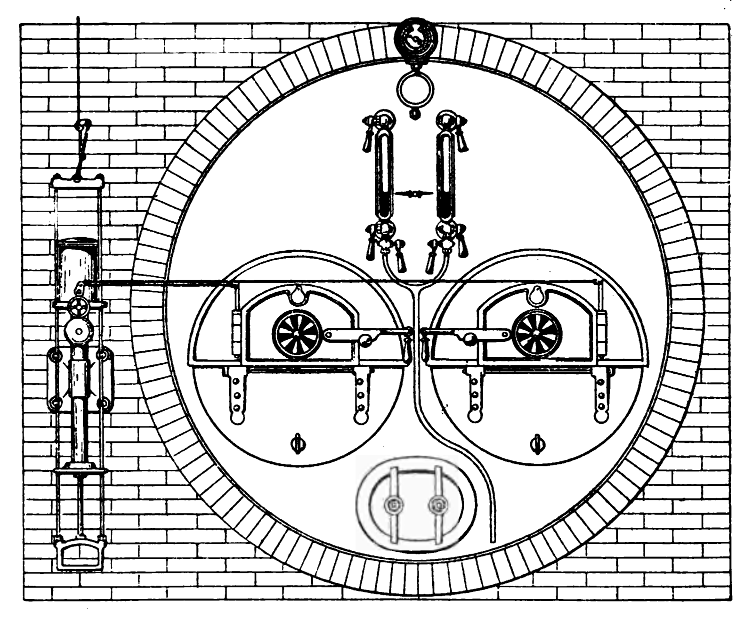


Fig. 26 *b*. Zugregler Patent Walter-Maaz.

Als Handaufzugapparat, bei welchem der Heizer selbst durch eine Kurbel den Schornsteinschieber hoch und dadurch den Apparat aufzieht, und als Dampfaufzugapparat, bei welchem das Aufziehen durch eine Dampfturbine bewerkstelligt wird, also automatisch und unabhängig von der Bedienung des Heizers ist.

Bei dem Handaufzugapparat ist der Schornsteinschieber mittels eines Drahtseiles an einem Kettenstücke aufgehängt, welches über zwei Scheiben geschlungen ist und ein Gegengewicht und zwei Anschlag-

[1]) Nach den Prospekten und einer mir zur Verfügung gestellten einleitenden Beschreibung der Firma Hörenz in Dresden.

stifte besitzt. Damit nun der Schieber immer gleichmäßig sinkt, ist ein Hemmwerk vorhanden, und zwar ein rotierendes Flüssigkeitshemmwerk, welches also keine Reibung hat und bei dem keine Stopfbüchsen u. s. w. nötig sind und so reguliert werden kann, daß der Schornsteinschieber bei einer Hubhöhe von 1 *m* in 5 Minuten heruntersinken kann oder auch bei einer Hubhöhe von nur 10 *cm* in 15 Minuten, so daß man also

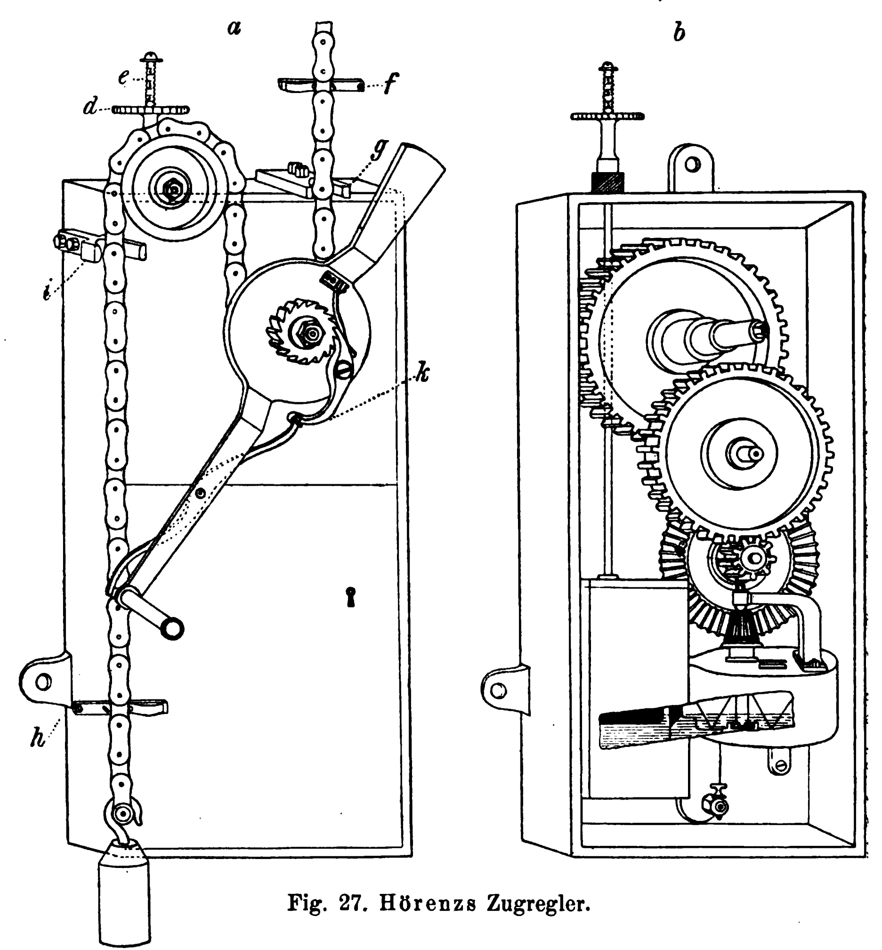


Fig. 27. Hörenzs Zugregler.

im Gegensatz zu einem Bremszylinder einen und denselben Apparat bei jeder beliebigen Hubhöhe und Brenndauer verwenden kann.

Das Hemmwerk (Fig. 28) besteht aus einem Bassin, in welchem sich eine Flüssigkeit (am besten Glyzerin, welches hygroskopisch ist und nicht verdunstet) befindet, in welcher ein freistehender, keiner Abnützung unterworfener Quirl oder Flügel durch eine Räderübersetzung, welche durch das Gewicht des sinkenden Schornsteinschiebers getrieben wird, sich frei herumdreht.

Vermindert man nun diese Hemmflüssigkeit, so dreht sich der Quirl schneller und der Schornsteinschieber sinkt schneller und vermehrt man die Hemmflüssigkeit in dem Bassin, so dreht sich der Quirl langsamer und der Schornsteinschieber sinkt langsamer.

Das Vermehren und Vermindern der Flüssigkeit im Bassin wird auf eine höchst einfache Weise bewirkt:

Das Bassin ist durch ein Loch mit einem Behälter verbunden, welcher einen zirka doppelt so großen Raum hat wie das Bassin. Die Hälfte des Behälters liegt tiefer als das Bassin, so daß die ganze Flüssig-

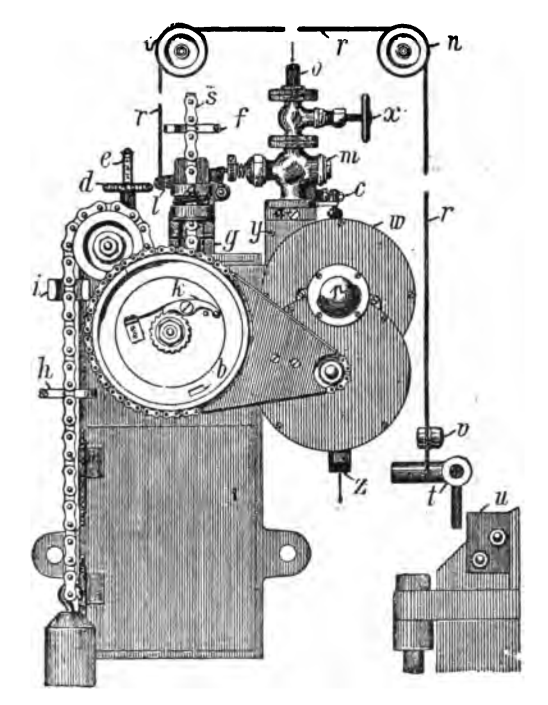


Fig. 27 *c*. Zugregler „Hörenz“ mit selbsttätigem Dampfturbinenaufzug.

keit im Bassin in den tiefer gelegenen Teil des Behälters herunterlaufen kann. In dem höher gelegenen Teile des Behälters ist ein gußeiserner Klotz, welcher den doppelten Rauminhalt des Bassins hat und welcher durch ein Stellrad auf und ab bewegt werden kann. Je nachdem man den Klotz herunterschraubt, wird aus dem unteren Teil die Flüssigkeit verdrängt und steigt dementsprechend in das Bassin, so daß man die Flüssigkeit im Bassin und dadurch den Gang des Apparates genau regulieren kann, ohne daß man dabei eine Stopfbüchse, Kolben oder überhaupt dicht gehende Teile nötig hat.

Damit nun der Heizer nach dem Kohlenauflegen den Schornsteinschieber durch den Apparat nicht mehr in die Höhe zu ziehen braucht, ist dieser Apparat mit einem ganz selbsttätigen Dampfturbinenaufzug verbunden. Schließt nun der Heizer nach dem Kohlennachlegen die Feuertür, so wird durch einen Mitnehmer ein Dampfventil geöffnet und so lange geöffnet gehalten, bis ein ganz beliebig verstellbarer Anschlagstift das Ventil wieder schließt. Der Dampf treibt nun so lange, bis das Ventil wieder geschlossen ist, eine kleine Dampfturbine, welche mit einem Vorgelege verbunden ist, wodurch der Schornsteinschieber bis zu jeder beliebigen Höhe aufgezogen wird. Damit nun der Schornstein-

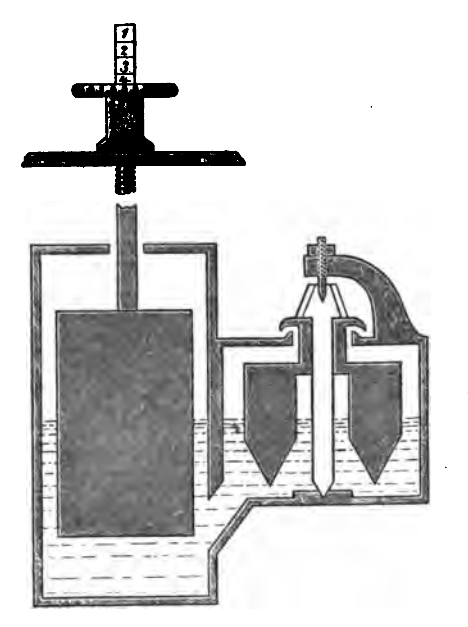


Fig. 28. Hemmwerk zum Zugregler „Hörenz".

schieber bei einem Kesseldruck von 2 Atmosphären ebenso gleichmäßig wie bei 12 Atmosphären aufgezogen wird, ist an der Turbine ein kleiner Regulator angebracht, durch welchen bewirkt wird, daß der Schornsteinschieber bei 12 Atmosphären nicht schneller in die Höhe geht als bei 2 Atmosphären.

Im folgenden ist die Gebrauchsanweisung des Hörenz'schen Zugreglers mit Handaufzugapparat nach dem gedruckten Prospekte der Firma nebst Zeichnung desselben wiedergegeben. Von dem Zugregler mit Dampfaufzugapparat ist bloß die Abbildung aufgenommen, die nach dem Vorangehenden wohl im wesentlichen ohne weitere Erklärung verständlich sein dürfte. Genauere Beschreibung samt Gebrauchsanweisung

sind ohneweiters von der genannten Firma selbst zu erhalten, die außerdem die betreffenden Apparate kostenlos für eine einmonatliche Erprobung (ohne Verbindlichkeit für den Empfänger) liefert.

Es ist von größter Wichtigkeit, daß von einem Mal Kohlennachlegen bis zum andern die Ablaufszeit des Luftüberschußbeseitigers, das heißt das Heruntersinken des Schornsteinschiebers vom höchsten bis zum tiefsten Stand, richtig eingestellt wird. Deshalb muß zunächst einmal ausprobiert werden, bis zu welcher Höhe man den Schornsteinschieber am vorteilhaftesten hochzieht; denn durch unnötig hohes Aufziehen wird Kohle verschwendet, während durch zu niedriges Aufziehen das Feuer schlecht brennt u. s. w.[1]) Hat man nun die günstigste Höhe festgestellt, so steckt man den Aufziehanschlagstift *f* in das Kettenglied, welches über dem Anschlag *g* steht, so daß immer nur bis zu der gewünschten Höhe aufgezogen werden kann. Hierauf läßt man, wenn die Kohle gerade ziemlich durchgebrannt ist, den Schornsteinschieber so weit herunter, daß die Feuergase nicht in das Kesselhaus zurücktreten und daß es nicht qualmt, wenn das Feuer ziemlich niedergebrannt ist. Hierauf steckt man den Ablaufanschlagstift *h* in das unter dem Anschlag *i* stehende Kettenglied, damit der Schornsteinschieber während des Betriebes nie tiefer sinken kann. Nachdem nun frische Kohle nachgelegt worden ist, beobachtet man, welche Zeit durchschnittlich verstreicht, bis diese Kohle fast nieder- oder durchgebrannt ist. Auf diese Zeitdauer muß die Ablaufszeit des Apparates, das heißt das Heruntersinken des Schornsteinschiebers vom höchsten bis zum tiefsten Stand, eingestellt werden, gleichviel ob dann später im Betriebe schon öfter Kohle nachgelegt werden muß, ehe der Apparat den Schornsteinschieber so weit heruntergelassen hat. Es ist von größter Wichtigkeit, das der Apparat annähernd genau auf diese Ablaufszeit eingestellt wird; denn läßt man z. B. den Schornsteinschieber zu schnell herunter, so wird das Feuer gedämmt u. s. w., läßt man denselben aber zu langsam herunter, so wird zu wenig Luftüberschuß dadurch beseitigt. Muß auf längere Zeit flotter oder forcierter gefeuert werden und infolgedessen der Schornsteinschieber wesentlich höher gezogen werden, wodurch die Kohle schneller verbrennt, so muß auch dementsprechend die Ablaufszeit während dieser Zeit eingestellt werden.

Damit man nun nicht immer erst auszuprobieren braucht, wenn der höchste Schornsteinschieberstand verändert wird, so merkt man sich diese einmal ausprobierten Stellungen. Der Heizer legt nun genau wie

[1]) Das heißt es muß diejenige Schieberstellung ermittelt werden, bei welcher für einen bestimmten Brennstoff und eine bestimmte Höhe der Schicht am Rost die günstigsten Verbrennungsverhältnisse erzielt werden.



bisher Kohlen nach, wenn es nötig ist, er richtet sich mit dem Kohlennachlegen nicht nach dem Apparat, sondern nur wie bisher nach dem Manometer u. s. w.

Ist nun z. B. ab und zu einmal vorübergehend Dampfmangel, so wartet man mit dem Kohlennachlegen natürlich nicht, bis die brennende Kohle ganz durchgebrannt ist und der Apparat wieder abgelaufen, das heißt bis der Schornsteinschieber fast geschlossen ist, sondern man legt Kohle nach, wenn es nötig ist und zieht hierauf selbstverständlich den Schornsteinschieber durch den Apparat wieder hoch.

In diesem Falle wird verhältnismäßig nicht so viel Kohle gespart (weil noch nicht viel Luftüberschuß vorhanden war), desto mehr aber wird erspart, wenn ab und zu einmal vorübergehend genügend Dampf vorhanden ist, denn da läßt man den Apparat ablaufen und legt erst dann wieder Kohle nach, wenn es nötig ist.

Bezirksingenieur Geiger beschreibt in der Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines 1898, S. 33, einen selbsttätigen Zugregler der Augsburger Kammgarnspinnerei.[1])

„Bei Konstruktion ihres Zugreglers ging die Augsburger Kammgarnspinnerei von der richtigen Ansicht aus, daß ein derartiger Apparat neben dem allgemeinen Zwecke auch noch den folgenden Anforderungen entsprechen müsse:

1. Es muß durch einen einfachen, soliden Mechanismus, der den im Kesselhaus unvermeidlichen Staub gut erträgt, der ungestörte Gang des Apparates gesichert sein.

2. Der Apparat muß leicht zu handhaben sein, damit er dem Heizer nicht unbequem und unangenehm werde.

3. Ferner wollte man den Apparat durch Einbau einer leicht beweglichen Drehklappe von dem am Ende jedes Kessels befindlichen Kaminschieber unabhängig machen, um mit letzterem die Maximalzugstärke jedes einzelnen Kessels nach Belieben einstellen zu können.

Dies ist unter anderem auch deshalb notwendig, weil die wechselnde Zahl der in Betrieb befindlichen Kessel und die jeweilige Witterung eine Veränderung dieser Schieberstellung erforderlich machen. Der Maximalzug der Gesamtkesselanlage ist außerdem durch einen in den gemeinschaftlichen Fuchs eingebauten Hauptschieber regelbar.

Die Berücksichtigung vorstehender Bedingungen führte nun zunächst zum Bau eines Apparates, welcher nach den von der Direktion der Kammgarnspinnerei bereitwilligst überlassenen Zeichnungen und Beschreibungen

[1]) Siehe darüber eingehendere Mitteilungen in Prof. M. Schröters Abhandlung: Vergleichende Versuche mit gesättigtem und überhitztem Dampf. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1896, S. 369.



in letztgenannter Zeitschrift schematisch dargestellt ist. (Siehe die abgebildeten Figuren 29 und 30.) Mittels eines von der Haupttransmission angetriebenen Schaltwerkes wird eine zwischen Kessel und Kaminschieber im Fuchs eingebaute Drehklappe allmählich geschlossen und so die Zugstärke im Verhältnis des Abbrennens der Kohle verringert.

Nach Beschicken des Rostes soll die Drehklappe den Rauchgasen den vollen Kanalquerschnitt gewähren, diesen aber beinahe ganz schließen, wenn die Kohle vollständig abgebrannt ist. In letzterer Stellung soll sie dann so lange bleiben, bis der Heizer wieder frisches Brennmaterial aufgelegt hat. Die Drehklappe schließt nicht dicht ab, sondern steht ringsum von den Rauchkanalwandungen etwas ab, damit beim Beschicken des Rostes noch etwas Zug verbleibt, der ein Zurückschlagen der Heizgase und eine Belästigung des Heizers durch dieselben verhindert.

Beschreibung der ursprünglichen Antriebsvorrichtung. (Fig. 29 *a*, *b*.) *A* ist ein auf der Achse der Drehklappe *Z* aufgekeiltes Schaltrad, dessen Zahnung sich nur auf $^1/_4$ Umfang erstreckt. Die Schaltklinke *B*, welche in die Zähne des Schaltrades eingreift, sitzt auf dem Schneckenradsegment *C*, welches um die Drehklappenachse lose drehbar angeordnet ist und durch die Schnecke *D*, das Schneckengetriebe *EF* und die Stufenscheiben G_1 G_2 von der Transmission *H* angetrieben wird. Dadurch erhält Schaltklinke *B* eine hinundhergehende Bewegung, deren Geschwindigkeit durch die Stufenscheiben dem zu verheizenden Brennstoffe entsprechend verändert werden kann. Die Schaltklinke schiebt nun bei jeder solchen Bewegung das Schaltrad um einen Zahn vorwärts, während die Sperrklinke *I* dasselbe am Zurückgehen hindert. Auf der Drehklappenachse sitzt ferner eine Seilrolle *K* fest aufgekeilt, an deren Umfang mittels Seil und Leitrolle *L* ein Gewicht *M* wirkt, das die Zähne des Schaltrades an die Sperrklinke andrückt und beim Herausheben der Sperrklinke die Drehklappe wieder in ihre Anfangsstellung zurückdreht.

Beide Klinken *I* und *B* sind an einer gemeinschaftlichen Kette *n* befestigt, welche über Rollen zum Heizerstand führt, um hier vom Heizer mittels Handgriffes *O* aus ihrem Eingriffe mit dem Schaltrad gehoben werden zu können. Wenn also die Drehklappe nach dem Abbrennen der Kohle den Rauchkanal geschlossen hat, so zieht der Heizer nach dem Beschicken des Rostes an dem Handgriff der Sperrklinkenkette und bringt dadurch die Sperrklinken außer Eingriff mit dem Schaltrade, worauf letzteres und die mit ihm verbundene Drehklappe durch das herabsinkende Gewicht *M* in ihre Anfangsstellung zurückgebracht werden und der Rauchkanal wieder geöffnet ist.

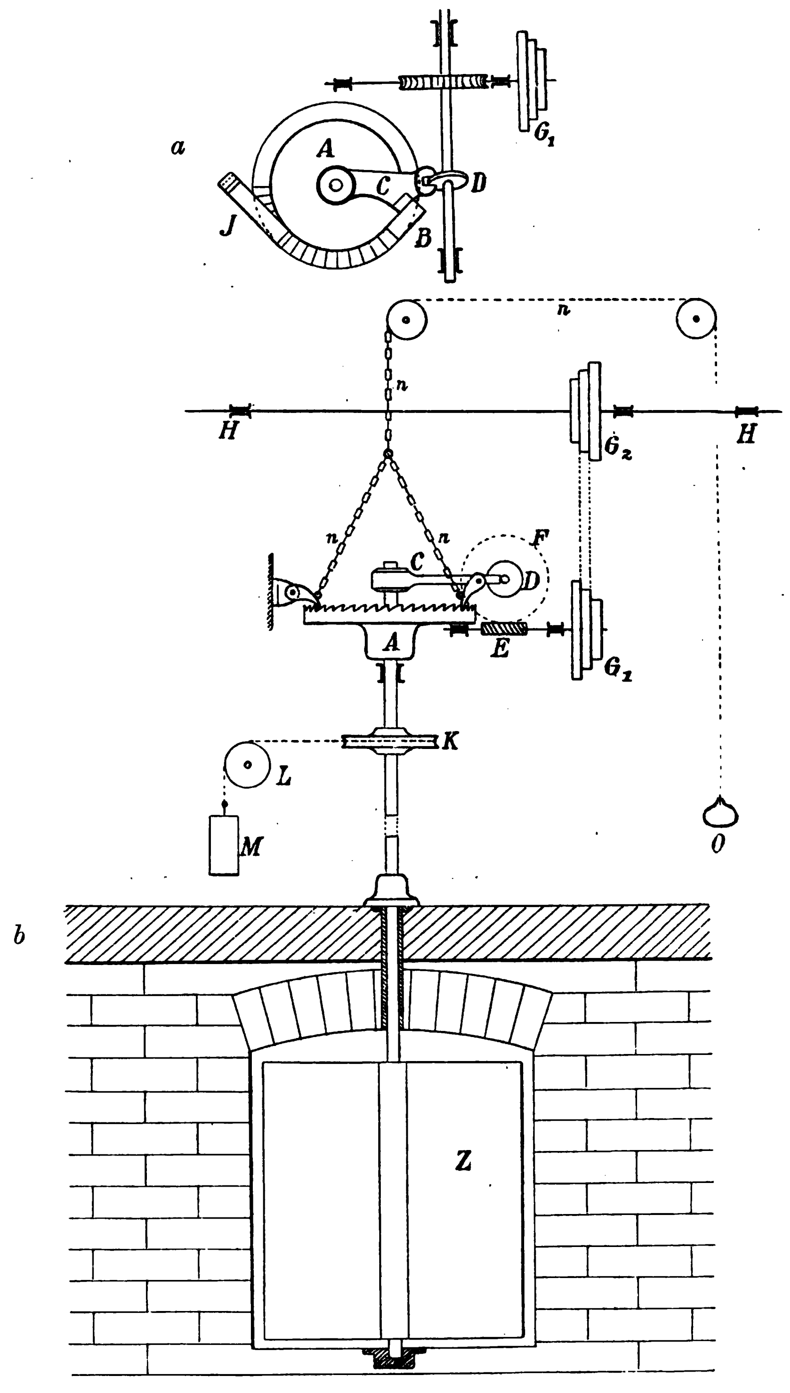


Fig. 29. Selbsttätiger Zugregler der Augsburger Kammgarnspinnerei.

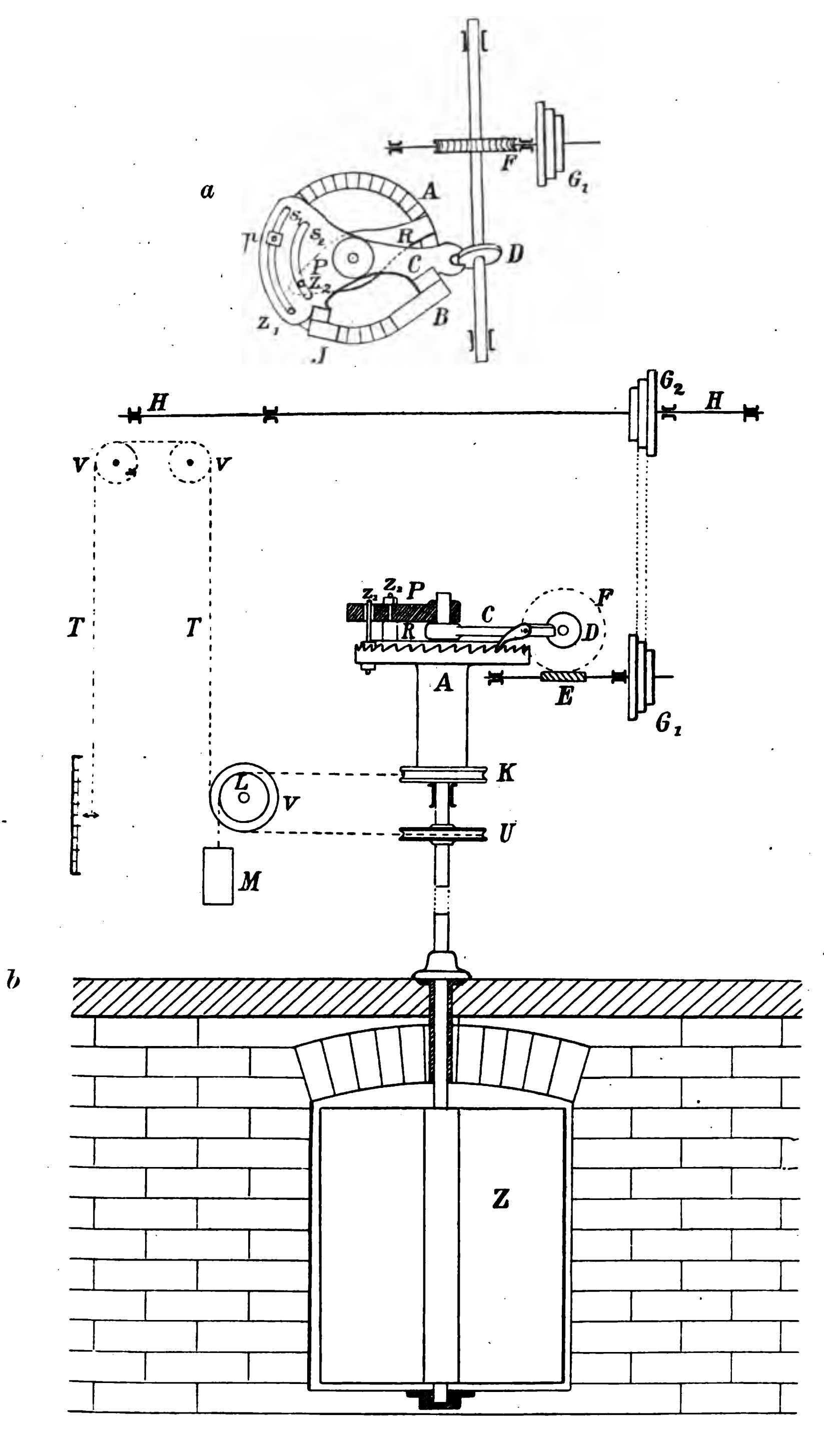


Fig. 30. Selbsttätiger Zugregler der Augsburger Kammgarnspinnerei.

Nach Loslassen des Handgriffes fallen beide Klinken wieder in die Zähne des Schaltrades ein, worauf das Spiel von neuem beginnt.

Eingehende, mit diesem Apparate vorgenommene Versuche zeigten, dass derselbe zwar den an ihn gestellten Anforderungen entsprach und den übrigen, damals bekannten Zugreglern überlegen war, allein eine Reihe von Rauchgasuntersuchungen, welche auf Wunsch der Kammgarnspinnerei an einem mit diesem Zugregler versehenen Dampfkessel durchgeführt worden sind, ließen erkennen, daß die eingangs erwähnten, an eine derartige Vorrichtung zu stellenden Anforderungen noch nicht ausreichen, um einen wirklich wirtschaftlichen Betrieb einer Feuerung zu erzielen. Durch die den Heizgasen an verschiedenen Zeitpunkten einer Brenndauer (Zeit, welche die frisch aufgegebene Kohle bis zum vollständigen Abbrennen benötigt) entnommenen Proben und durch Ausprobieren der günstigsten jeweiligen Drehklappenstellungen wurde nämlich gefunden, daß die vollständigste Verbrennung mit dem kleinsten Luftüberschuß dann erzielt wird, wenn nach dem Beschicken des Rostes noch eine bestimmte Zeit lang der volle Zugquerschnitt beibehalten und letzterer dann mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf ein bestimmtes Maß verkleinert wird. Für verschiedenartige Brennstoffe sind selbstredend die vorbezeichneten Größen auch entsprechend verschieden. Nach diesen Versuchsergebnissen mußte die Antriebsvorrichtung der Drehklappe wie folgt geändert werden:

„Beschreibung der neuen Antriebsvorrichtung. Die Seilrolle K (Fig. 30 a, b) sitzt jetzt auf der verlängerten Nabe des Schaltrades aufgekeilt und hat wie letzteres ihre Führung im Gestell, während beide um die Drehklappenachse lose drehbar sind. Das Schaltrad A ist auf dem ganzen Umfang gezahnt.

Auf der Drehklappenachse ist eine Mitnehmerkulisse P mit zwei kreisförmigen, konzentrisch zueinander angeordneten Schlitzen S_1 und S_2 fest aufgekeilt.

In dem äußeren Schlitz S_1 läuft ein nach einer eingravierten Skala einstellbarer Anschlag p und ein auf dem Schaltrad A festsitzender Mitnehmerzapfen Z_1; im inneren Schlitz S_2 dagegen der auf dem Abdeckblech R festgenietete Zapfen Z_2, welcher an jeder Stelle der hier eingravierten zweiten Skala festgestellt werden kann. Das Abdeckblech ist um die Drehklappenachse lose drehbar, überdeckt eine gewisse Anzahl Zähne des Schaltrades.

Die Wirkungsweise des Apparates ist folgende:

Nach Beschicken des Rostes ist die Drehklappe offen. Die Schaltklinke B (Fig. 30 a, b), welche ebenso wie die Sperrklinke J beim neuen Apparat beibehalten worden ist, schiebt das Schaltrad Zahn für Zahn

vorwärts, während die Sperrklinke dessen Zurückgehen verhindert. Die Drehklappe bleibt während dieser Zeit so lange stehen, bis der Zapfen Z_1 an dem festgestellten Anschlag p der Kulisse ansteht und dann letztere samt der Drehklappe mitnimmt. Da aber das Abdeckblech R mittels des verstellbaren Zapfens Z_2 mit der Kulisse verbunden ist, so macht auch dieses jetzt die Bewegung der Drehklappe mit, welche so lange andauert, bis sich das Abdeckblech unter die Schaltklinke geschoben hat und hier die Schaltradzähne zudeckt.

Bei der hinundhergehenden Bewegung des Segmentes C schleift nunmehr die Schaltklinke auf dem Abdeckbleche und kommt mit dem Schaltrad zu keinem Eingriff mehr, so daß dann dieses samt Kulisse und Drehklappe stehen bleibt, bis der Rost wieder frisch beschickt wird beziehungsweise bis der Heizer durch einen Zug an den Handgriff O der Klinkenketten die Sperrklinke J aus den Zähnen des Schaltrades heraushebt. Dann wird dieses und mit ihm durch den Mitnehmerzapfen Z_1 die Kulisse und die Drehklappe von dem Gewichte M in ihre Anfangsstellung zurückgezogen und das Spiel kann von neuem beginnen.

Durch Verstellen des Anschlages p und des Zapfens Z_2 hat man es in der Hand, den Beginn und Schluß der Drehklappenbewegung beliebig zu verändern und dem jeweiligen Brennstoff anzupassen, während die Geschwindigkeit dieser Bewegung wie bei der ursprünglichen Anordnung durch die Stufenscheiben geregelt wird.

Zur Überwachung des ordnungsgemäßen Ganges und der richtigen Einstellung des Apparates ist auf der Drehklappenachse eine zweite Rolle U aufgekeilt, an deren Umfang eine Kette T wirkt, welche über Leitrollen V zum Heizerstand geht. Das Ende der Kette trägt einen Zeiger, welcher an einer Skala die jeweilige Stellung der Drehklappe kenntlich macht.

„Damit die Drehklappe beim Zurückschnellen in die Anfangsstellung nicht über letztere hinausgetrieben wird, legen sich die Mitnehmerkulisse und die Seilrolle K mit entsprechenden Anschlägen an das Gestell des Apparates an. Am Halslager des Gestelles ist ferner ein Zeiger angebracht, welcher auf einer auf dem Umfang der Mitnehmerkulisse eingravierten Skala den jeweiligen Stand der Drehklappe auch am Apparat selbst angibt. Der beschriebene Zugregler, welcher nach den im großen angestellten vergleichenden Versuchen hinsichtlich wirtschaftlicher Ausnützung der Brennstoffe sehr zufriedenstellend arbeiten soll, wird hauptsächlich dort gute Dienste leisten, wo eine möglichst gleichmäßige Dampfentnahme stattfindet, obwohl der Heizer durch erhöhte Aufmerksamkeit bei der Bedienung des Zugreglers vorkommende

Schwankungen auszugleichen vermag. Anderen derartigen Vorrichtungen gegenüber ist derselbe insoferne im Nachteil, als die für seinen Antrieb nötige Transmission nicht immer in nächster Nähe vorhanden ist: da er aber nur eine leichte und daher billige Transmission erfordert und man sich nötigenfalls auch mit elektrischem Antriebe helfen kann, was sich namentlich bei großen Kesselanlagen mit vielen Kesseln empfehlen dürfte, so fällt der erwähnte Nachteil gegenüber den Vorzügen nicht ins Gewicht."

Auch Szcepanik in Wien hat einen automatischen Zugregler konstruiert. Derselbe, Kohlensparapparat genannt, besteht aus dem durch eine (mit einem Dampfsteuerhahn versehene) Röhre mit dem Dampfkessel in Verbindung stehenden Dampfzylinder, dessen Kolben durch Gestänge mit dem Essenschieber verbunden ist, einer Flüssigkeitsbremse und einer besonderen Vorrichtung, mittels welcher der Heizer nötigenfalls die Feuerung forcieren kann.

Der Apparat wirkt folgendermaßen: Beim Öffnen der Feuertür zwecks Beschickung des Rostes mit Kohle befindet sich der Essenschieber in seiner tiefsten Stellung und schließt den Rauchkanal, so daß das Einströmen von kalter Luft in den Feuerraum verhindert ist. Beim Schließen der Thür nach erfolgter Beschickung strömt durch den von der Feuertür betätigten Dampfsteuerhahn Dampf in den Dampfzylinder, wodurch dessen Kolben hinuntergedrückt wird, so daß die für die Verbrennung der am Roste befindlichen höheren Kohlenschichte notwendige Luftmenge in den Feuerraum treten kann. Hat der Dampfkolben seinen Hub vollendet, so erfolgt durch eine Vorrichtung der Auspuff des im Dampfzylinder befindlichen Dampfes, der Essenschieber sinkt nun infolge seines Gewichtes herab und der Luftzutritt wird wieder gehemmt. Dies kann aber nur in dem Maße geschehen, als der Verbrennungsprozeß fortschreitet und kann mittels der Flüssigkeitsbremse genau nach den bestehenden Heizintervallen und nach der verwendeten Kohlensorte ein- für allemal eingestellt werden. Die Verbrennung wird sonach stets mit jenem Luftminimum stattfinden, welches der am Roste befindlichen, sukzessive abbrennenden Kohlenschichte entspricht.

Schließlich möge hier der automatisch arbeitende Feuerzugregler des Ing. Efran in Brünn[1]) (Fig. 31), der von der Firma Schückher & Merz in Wien I., Canovagasse Nr. 7, geliefert wird, beschrieben werden.

Der Apparat besteht im wesentlichen aus einer Bremse *C*, einem Windkessel *W* und einer Steuerung *St*, kombiniert mit einem eigenartigen Dampf-Ein- respektive Auslaßorgan *O*. Der Dampf oder das Druckwasser tritt diesem Organe *O* durch das — an eine Dampf- oder Druck-

[1]) Nach der mir vom Herrn Ingenieur Efran zur Verfügung gestellten Abbildung und Beschreibung.



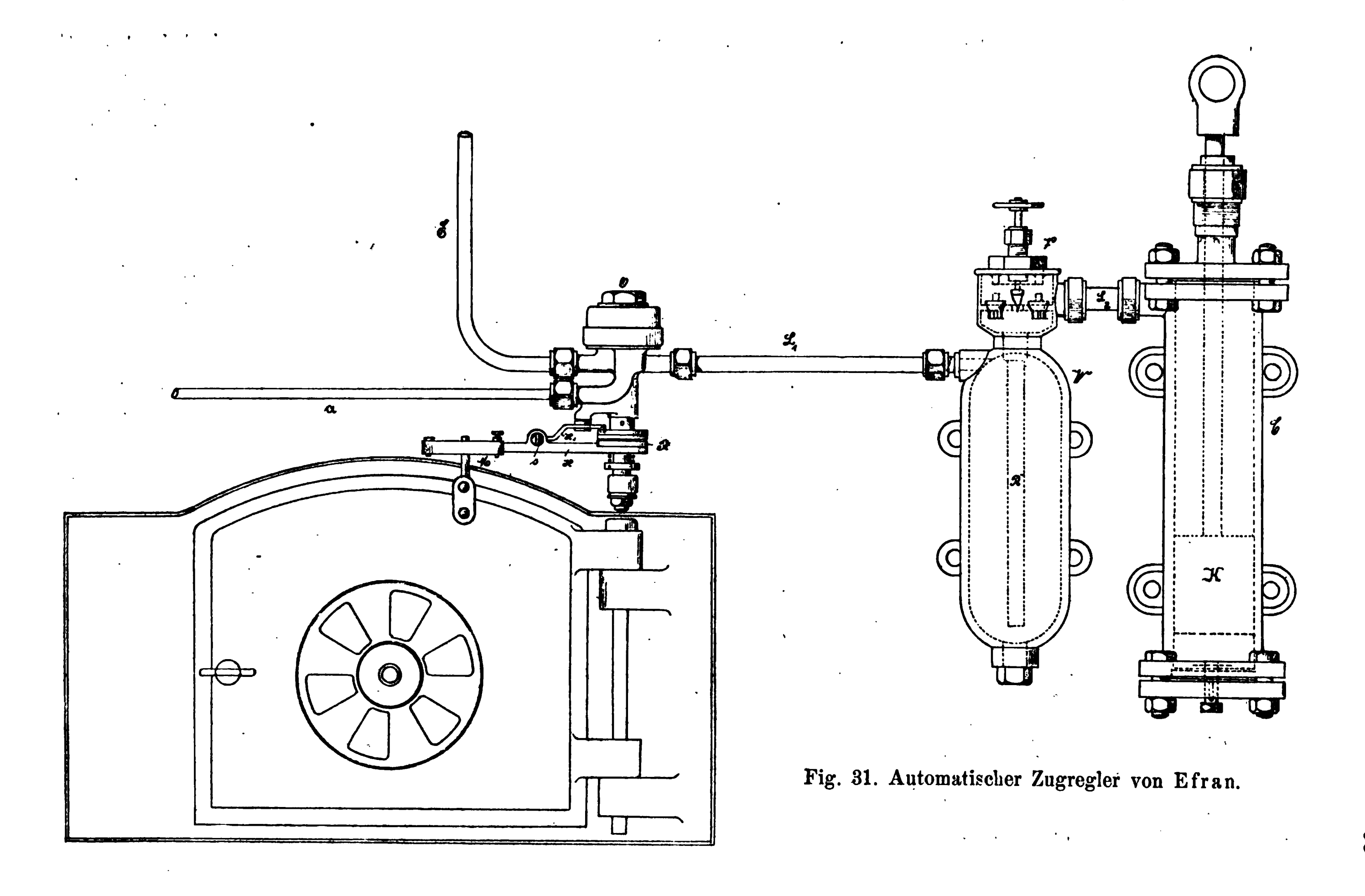


Fig. 31. Automatischer Zugregler von Efran.

wasserleitung angeschlossene — Rohr E zu. Eine Eigenart der Steuerung ist, daß dieselbe das Organ O einzig und allein beim Schließen der Feuertüre — nach vorherigen Öffnen über einen gewissen, jedoch beliebigen Winkel — in Tätigkeit setzt. (Dies darum, um nicht schon beim Öffnen zwecks bloßer Besichtigung des Feuers den Hochgang des Schiebers herbeizuführen.) Und zwar stellt die Steuerung das Organ O im ersten Momente des Türschließens auf Einlaß. Bei dieser Stellung tritt der Dampf (resp. das Druckwasser) durch die Leitung L in den Windkessel W, drückt das in diesem befindliche Wasser durch das Rohr R und durch die in dem Gehäuse V befindlichen, nach oben zu sich öffnenden Rückschlagventile in die Leitung L_2 und durch diese in den Bremszylinder C, drückt dadurch den in C verschiebbaren Kolben K nach abwärts und zieht dabei den an die Kolbenstange direkt oder durch Übersetzungsmechanismen angehängten Rauchschieber in die Höhe. Im letzten Momente des Türschließens stellt die Steuerung das Organ O auf Auslaß um. Der in den Windkessel eingedrungene Dampf (resp. das Druckwasser) kann nun durch die Auspuffleitung A entweichen. Der einseitige Druck auf den Kolben K hört damit auf. Dieser kann somit der Zugwirkung des — nur zum Teile ausbalancierten — Rauchschiebers in dem Maße nachgeben, als er Wasser aus C durch die Leitung L_2 durch das in V angeordnete Regulierventil und durch das Rohr R in den Windkessel W verdrängt, wobei natürlich jeder beliebigen Stellung des Regulierkegels eine bestimmte Kolbengeschwindigkeit und in direkter Folge eine bestimmte Senkgeschwindigkeit des Rauchschiebers entspricht.

Ein Vorzug dieser Bremse besteht darin, daß infolge der eigenartigen Kombination mit dem Windkessel W ein hartes Aufschlagen des Kolbens auf den Bremszylinderboden — selbst beim Niederdrücken desselben durch höchstgespannten Dampf — total vermieden wird. Beim Aufstieg des Kolbens wird unter demselben ein teilweises Vakuum geschaffen, das infolge seiner Regulierbarkeit durch Tiefer- oder Höherschrauben der in den Boden des Zylinders C eingesetzten geschlitzten Schraube die feinste Nuancierung der Bremsung ermöglicht. Beim Niedergang des Kolbens kann die durch den Schraubenschlitz in den unteren Zylinderraum eingedrungene Luft durch denselben nicht in gleichem Maße entweichen, als dem gleichzeitigen Kolbenhube entspricht. Dieselbe wird daher im unteren Zylinderraume zusammengepreßt und bildet einen elastischen Luftpolster von um so höherer Pressung, als der Kolben seiner tiefsten Lage sich nähert. Dadurch wird in der Grenzlage ein vollkommener Ausgleich zwischen Dampfdruck und Federkraft des Luftpolsters erzielt, jedes harte Aufschlagen des Kolbens auf den

Zylinderboden, selbst bei den höchsten Dampfdrücken, somit direkt unmöglich gemacht und dadurch auch die schädlichen Wirkungen eines solchen auf den Apparat selbst, die Rauchschiebergarnitur und die Verbindungen vermieden.

Über den Einfluß der Stärke des Zuges auf das Güteverhältnis der Kessel hat sich speziell schon H. v. Reiche in seinem oben zitierten wohlbekannten Buche „Anlage und Betrieb der Dampfkessel“ etc. in Leipzig, Verlag von Arthur Felix, 1876, II. Auflage, geäußert. v. Reiche konstatiert zunächst, daß die Lokomotivkessel ungleich günstigere Resultate aufweisen als die gewöhnlichen stationären Kessel und findet ganz entschieden die Ursache zunächst in dem in den Lokomotiven wirkenden, sehr energischen Zug, welcher sowohl im Lokomotivkessel als im Lokomobilkessel durch den Exhaustor oder das Blaserohr erzeugt wird. Beim Lokomotivkessel arbeitet der Exhaustor mit hohem Dampfdruck und erzeugt also einen sehr lebhaften Zug; beim Lokomobilkessel dagegen arbeitet der Exhaustor mit niederem Dampfdruck und erzeugt nur einen mäßigen Zug. Bei schwachem Zug im allgemeinen bewegt sich die Luft mit geringerer Geschwindigkeit durch die glühende Brennstoffschichte, die Verbrennungsgase werden aus derselben nur langsam verdrängt und umhüllen gewissermaßen die Brennmaterialstücke, behindern dadurch den Angriff des eindringenden Luftsauerstoffes, welcher demnach als solcher in die Kesselzüge entweicht. Auch kann es vorkommen, daß das gebildete Kohlendioxyd, weil es längere Zeit mit glühender Kohle in Berührung bleibt, wieder zu Kohlenoxyd reduziert wird, und man erhält demnach (nach v. Reiche) bei schwachem Zuge unvollständige Verbrennung und pro Kilogramm Kohle ein großes Gewicht, respektive großes Volumen Gase von niederer Temperatur. Bei lebhaftem Zuge dagegen fallen alle diese ungünstigen Momente weg, der Sauerstoff der Verbrennungsluft trifft unmittelbar die glühenden Brennstoffstücke, die Kohlensäure hat nicht Gelegenheit, durch Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reduziert zu werden etc. v. Reiche[1]) äußert sich diesbezüglich folgendermaßen:

„Bei lebhaftem Zuge erhalten wir also möglichst vollständige Verbrennung und pro Kilogramm Kohle ein kleines Gewicht (resp. kleines Volumen) Gas von hoher Temperatur.

Um Zahlen[2]) anzuführen, so würden durch vollständige Verbrennung

---

[1]) H. v. Reiche: Anlage und Betrieb der Dampfkessel etc., Leipzig, Verlag von Arthur Felix, 1876, S. 237.

[2]) v. Reiche bemerkt hierzu: Die hier folgenden Temperaturen werden in der Praxis nicht zu erreichen sein; sie gewähren aber den einzig korrekten Anhalt zur Beurteilung respektive Vergleichung.

von 6 *kg* Kohlen bei einfacher (gerade hinreichender) Luftzufuhr (also bei möglichst scharfem Zuge) 70 *kg* Verbrennungsgase von 3146° Wärme entstehen. (Diese Verhältnisse treffen in der Praxis allerdings nicht zu und sind nur zur besseren Vergleichung gewählt.)

Bei gewöhnlichem (durch einen Schornstein hervorgebrachten) Zuge dagegen hat man die doppelte Quantität Luft zuzuführen, um eine vollständige Verbrennung zu erreichen, und dann erhält man aus 6 *kg* Kohlen 134 *kg* Verbrennungsgase von nur 1646° Wärme.

Ist nun der Zug so schlecht, daß trotz der doppelten Luftzufuhr die Verbrennung unvollständig bleibt, oder daß, um die Verbrennung einigermaßen vollständig zu machen, noch mehr als die doppelte Luftmenge zugeführt werden muß, so leuchtet ein, daß die durch 6 *kg* Kohle erzeugte Gasmenge noch größer und von noch geringerer Temperatur wird.

Temperatur und Menge der Verbrennungsgase wirken aber als Hauptfaktoren auf das Güteverhältnis des Kessels ein.

Der nämliche Kessel wird beispielsweise, wenn er eine bestimmte Gasmenge von 1646° Temperatur auf 300° abzukühlen vermag, die nämliche Gasmenge von 3146° Temperatur auf zirka 400° abzukühlen imstande sein, er wird also im ersten Falle zirka 80% und im letzten Falle zirka 87% aller (überhaupt erzeugten) Wärme nutzbar gemacht haben.

Da nun aber der Kessel bei einer Verbrennung, welche die letztere Temperatur erzeugt, nur zirka halb so viel Gasen die Wärme zu entziehen hat, als bei einer Verbrennung, aus welcher die erste Temperatur resultiert (70 *kg* gegen 134 *kg*), so braucht er auch nur halb so groß zu sein, wie im ersten Falle, denn einleuchtend ist, dass ein Kessel genau doppelt so groß sein muss, wenn er die doppelte Gasmenge von der nämlichen Temperatur mit dem nämlichen Nutzeffekt verarbeiten soll.

Wir erhalten also bei lebhaftem Zuge quantitativ und qualitativ bedeutend höhere Leistung jedes Kessels als bei gewöhnlichem Zuge.“

v. Reiche zieht nun aus diesen Betrachtungen die Lehre, daß der Zug unter allen Umständen möglichst stark sei, weist darauf hin, daß Stärke des Zuges und Menge der zugeführten Luft dem Wesen nach vollständig verschiedene Dinge sind, welche aber im alltäglichen Sprachgebrauche oft miteinander verwechselt werden, weil sie in unseren gebräuchlichen Anlagen durch Regulierung des Handschiebers gleichzeitig miteinander wachsen und abnehmen. Man kann wenig Luft heftig einblasen, entsprechend einem kleinen Roste und starkem Zuge und man kann im Gegensatz viel Luft mit geringer Geschwindigkeit einblasen bei großem Roste und schwachem Zuge. v. Reiche wirft nun die Frage auf: Welches ist der möglichst starke Zug, den man für ein

gegebenes Brennmaterial anwenden darf? und beantwortet dieselbe mit Rücksicht auf Versuche des Obermaschinenmeisters Prüsmann (Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereines zu Hannover, 1867, XIII. Bd., S. 307) damit, daß die Differenz der Spannungen über und unter dem Roste immer unter 25 *mm* Wassersäule sei und das Maximum des Zuges sich nach der Größe der Brennmaterialstücke und nach ihrem spezifischen Gewicht richtet. Spezifisch schwere Kohlen vertragen stärkeren Zug als spezifisch leichte, grobe Stückkohlen einen stärkeren als Nußkohlen und den schwächsten Zug erfordert das staubförmige Brennmaterial. v. Reiche[1]) empfiehlt deshalb zur Vergrößerung des spezifischen Gewichtes und der Stückgröße des Brennmateriales ein Nässen der Kohle, bei welchem selbst nasse, magere Staubkohlen zu festen, breiartigen Klumpen zusammenbacken, die vom stärksten Zuge nicht zerteilt werden. Die Verringerung des Nutzeffektes durch die notwendige Verdampfung des zugesetzten Näßwassers wird, wie v. Reiche an einem Beispiele zeigt, aufgewogen durch die Vergrößerung des Nutzeffektes, welche die bei genäßten Kohlen mögliche Zugverstärkung im Gefolge hat. Reine, magere Stückkohlen und Gruskohlen oder grushaltige Förderkohlen magerer Natur sollen daher stets vollständig durchnäßt verfeuert werden.

„Dabei setzen wir allerdings einen so lebhaften Zug voraus, daß ohne das Nässen der Kohlen diese auf dem Roste nicht ruhen, daß vielmehr ohne dies Hülfsmittel die feinen Kohlenteile auf dem Roste tanzen und in den Schornstein fliegen würden und zweitens setzen wir voraus, daß der Rost ein solcher ist, auf welchem Kohle überhaupt ruhen kann.

Kohlen zu nässen, welche auf Schüttelrosten oder Treppenrosten etc. verbrannt werden sollen, ist also unbedingt verwerflich.“

Wie bereits früher erwähnt, hält Cario Zugstärken von 2—10 *mm* Wassersäule im allgemeinen für einen rationellen Feuerungsbetrieb für ausreichend; Steinkohle müsse jedoch mit den höheren Zugstärken 5—10 *mm* und noch darüber verbrannt werden, während für Braunkohle, Torf, Holz etc. niedrigere Zugstärken ausreichen.

Die Zugstärke richtet sich also jedenfalls zunächst nach der chemischen Zusammensetzung der Brennstoffe (je wasserstoff- und sauerstoffreicher dieselben sind, desto geringere Zugstärken sind erforderlich), sowie nach ihrer physikalischen Beschaffenheit (ob dichter oder weniger dicht) und ihrer Stückgröße. Sie ist aber auch abhängig von der Rostkonstruktion (insbesonders dem Verhältnis der freien Rostfläche zur

[1]) H. v. Reiche: Anlage und Betrieb der Dampfkessel etc., Leipzig, Verlag von Arthur Felix, 1876, S. 240.

gesamten Rostfläche) und der Höhe der variabeln Schichte des auf den Rost aufzubringenden Brennstoffes, sowie der Art des Kesselsystems, der Beschaffenheit und Anordnung der Feuerzüge etc., weil davon die zu überwindenden Reibungswiderstände abhängen. Eine allgemeine Regel läßt sich diesbezüglich nicht aufstellen. Unbedingt reicht der Schornsteinzug vollständig aus, um die gebräuchlichen Brennstoffe in unseren Dampfkesselanlagen mit möglichst günstig starkem Zuge zu verbrennen.

Der Forderung Reiches nach Verbrennung mit möglichst starkem Zuge möchte ich deshalb nur insoferne beipflichten, als ich dieselbe beschränke auf den für den betreffenden Brennstoff, das vorliegende Rostsystem, beziehungsweise die mit diesen Faktoren zusammenhängende variable Schichte[1]) des aufzubringenden Brennstoffes. Man soll im allgemeinen mit den größten Zugstärken, jedoch nur gleichzeitig mit den erzielbar geringsten Luftüberschüssen arbeiten, dabei aber im Auge behalten, daß derselbe Brennstoff bei höherer Schichte einen stärkeren Zug verträgt und der „starke“ Zug jedoch bei gleichem Effekt desto mehr herabgesetzt werden kann, je wasserstoff- und sauerstoffreicher, weniger dicht, lockerer der Brennstoff ist.

Obzwar also schon v. Reiche in seinem zitierten und sehr verbreiteten Buche angegeben hatte, daß „Stärke“ des Zuges und Menge der seiner Feuerung zugeführten Luftmenge zwei dem Wesen nach vollständig verschiedene Dinge seien, aber im gewöhnlichen Sprachgebrauche oft miteinander verwechselt werden, so trifft man doch noch häufig die Meinung, daß der „starke“ Zug die Ursache der großen Luftüberschüsse in den Rauchgasen und demnach auch die Ursache eines niedrigeren Nutzeffekts der Feuerungsanlage sei. Es ist deshalb von Wert, daß neuester Zeit Paul Fuchs (Mitteilungen aus der Praxis des Dampfk. etc., Organ des Zentralverbandes des preußischen Dampfkessel-Überwachungsverein, 1892, S. 22) diesen Gegenstand kritisch beleuchtet und hiezu auch die Resultate eigens zu diesem Zweck durchgeführter Versuche herangezogen hat.

Zur Entwicklung des Luftüberschußkoëffizienten gebe es zwei Wege, den der Analyse der Rauchgase und sodann die Messung der pro Zeiteinheit durch den Rost tretenden Luftmenge, welche rechnerisch in Beziehung zu dem verfeuerten Kohlenquantum und der Qualität gebracht wird. Die zweite Methode werde wohl der bedeutenden Schwierigkeiten halber nie ausgeführt; dafür habe man durch Zugmesser relative Werte erlangen wollen, welche jedoch in keinem übersichtlichen Zusammenhange untereinander stehen. Die durch die „Zugmesser“ vorgenommenen Bestimmungen geben nach Fuchs kein Maß für die die

[1]) Über die zweckmäßigste Dicke der Brennstoffschicht siehe v. Reiche-Reintgen, Dampfkessel etc.



Feuerung wirklich passierenden Luftmengen und der Wert solcher Unterdruckmessungen sei in dieser Richtung für den Betrieb fast gleich Null. Sei z. B. bei gleichbleibendem Saugeffekt eines Schornsteines der Rost fast ganz frei, so fließt die Luft mit dem denkbar kleinsten Widerstand durch die Züge zum Schornstein, der Zugmesser zeigt dann beispielsweise über dem Roste ein Minimum von Unterdruck an. Beginnt man nunmehr den Rost zu beschicken, so wird der Widerstand, welcher der zuströmenden Luft geboten wird, in demselben Maße zunehmen, in dem der freie Querschnitt innerhalb der Kohlenschicht immer kleiner wird. Hierbei wird die Annahme des Zugmessers ununterbrochen anwachsen, der Unterdruck an der Meßstelle über dem Rost wird immer größer werden, weil der Auftrieb im Schornstein als konstant angenommen ist.

Wird der Rost endlich so hoch beschickt, daß fast gar keine atmosphärische Luft durch die aufgeschütteten Kohlen treten kann, so wird das Druckgefälle vom Rost bis zum Schornstein gleich Null sein; der gewöhnliche Zugmesser zeigt ein Maximum an, trotzdem überhaupt fast keine Luft durch die Feuerung tritt. Aus diesen Unterdruckangaben innerhalb der Feuerzüge kann also kein Urteil über den größeren oder geringeren Luftüberschuß gebildet werden, weil der freie Querschnitt innerhalb der Kohlenschichte weder bekannt noch konstant ist.

Fuchs hat dann eine Reihe von Versuchen durchgeführt, indem er nebst den Angaben der Zugmesser auch die Windgeschwindigkeit pro Zeiteinheit ermittelte und sodann zur Kontrolle den CO_2 Gehalt der Rauchgase sowie ihre Temperatur bestimmte. Zeigt der Windgeschwindigkeitsmesser ein Maximum an, so muß bei gleichbleibender Rostleistung der CO_2 Gehalt sowie Rauchgastemperatur fallen, weil eben der Luftüberschuß gewachsen ist. Die Resultate, die Fuchs a. a. O. graphisch darstellte, bestätigten seine Voraussetzungen. Fuchs bemerkt schließlich: Von einem Betriebswert dieser Feuerungskontrolle kann jedoch nur dann die Rede sein, wenn in einem Feuerungsversuch mit einer bestimmten Kohlensorte bei gleichbleibenden Betriebsverhältnissen unter Beobachtung des Luftüberschusses diejenige Zugstärkezahl ermittelt wird, die dem praktisch geringsten Luftüberschuß, mit dem die Kohle verbrannt werden kann, entspricht. Hierzu bemerkt die Redaktion der genannten Zeitschrift in einer Fußnote: Gibt es eine solche Bestimmungsart von genügender Schärfe und wie wird dieselbe ausgeführt?

Man ersieht wohl aus dem Angeführten, daß größere Zugstärken und ein ökonomischer Feuerungsbetrieb durchaus nicht unvereinbar miteinander sind. Vorläufig kann die für eine bestimmte Feuerungsanlage und für einen bestimmten Brennstoff zur möglichst ökonomischen Ver-

brennung zweckmäßigste Maximalzugstärke nur auf dem Wege unmittelbarer Versuche durch entsprechende Kontrolle des Feuerungsbetriebes ermittelt werden.

Als ein Beispiel, von welcher Bedeutung die Veränderung und Anwendung des richtigen Zuges je nach der Natur der betreffenden Brennstoffe für die Ökonomik des Feuerungsbetriebes sei, werde hier ein Bericht angeführt, welchen der sächsische Dampfkessel-Revisionsverein in seinen technischen Mitteilungen 1899[1]) anführt. Bei derselben Kesselanlage und derselben Kohle wurde von zwei Heizern in dem einen Falle ein Nutzeffekt von 48, in dem anderen Falle von 62 erzielt. Der eine Heizer kannte die Eigenschaften der verwendeten böhmischen Braunkohle nicht, arbeitete stets mit zu hoher Brennstoffschichte, infolgedessen der nach der Aufgabe frischer Kohle sich entwickelnden Gasmenge die Luft zur vollkommenen Verbrennung fehlte.

Derartige Erfahrungen sind gewiß schon von den meisten Feuerungstechnikern gemacht worden. Ein guter Heizer, das ist derjenige, der neben gewissen notwendigen Kenntnissen Beobachtungsgabe und Kombinationsvermögen besitzt, ist ja anerkanntermaßen in erster Linie zum rationellen Feuerungsbetriebe notwendig.

Wie im vorhergehenden erörtert wurde, muß also die Stärke des Zuges und die Menge der in die Feuerung eingesaugten Luft streng auseinander gehalten werden. Für eine gegebene Feuerungsanlage kann bei gleich starkem Zuge je nach der Natur des verwendeten Brennstoffes, der selbst bei einer und derselben Gattung ja in seinen Eigenschaften ziemlich variiert und je nach der Höhe der aufgebrachten Brennstoffschichte die Menge der eingeführten Luft einmal die möglichst günstigste sein und ein andermal in zu großem Überschuß oder seltener in zu geringen Mengen eingeführt werden. Zur richtigen Beurteilung des Zuges muß deshalb die Menge der pro Gewichtsteil des Brennstoffes verwendeten Luft im Verhältnis zu der theoretisch notwendigen Luftmenge festgestellt werden. Dies geschieht für bestimmte Zeitpunkte am längsten durch die Analyse der Rauchgase, welche sich in den meisten Fällen nur auf die Bestimmung des Kohlendioxyds, des Sauerstoffes, des Kohlenoxyds, beziehungsweise des Stickstoffes als Rest erstreckt. Ich will es hier unterlassen, die Methoden und Apparate zur Untersuchung der Rauchgase näher zu beschreiben, die ja voraussichtlich den meisten Lesern dieses Büchleins ohnehin bekannt sind und verweise eventuell auf das vorzügliche Büchlein von Professor Dr. Ferdinand Fischer „Taschenbuch für Feuerungstechniker“. In welcher Weise die Resultate der Rauchgasanalyse zur Berechnung des eingeführten Luft-

[1]) Nach Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines, 1899, S. 58.

quantums pro 1 *kg* Brennstoff beziehungsweise des Verhältnisses des eingeführten Luftvolums zum theoretisch notwendigen Luftvolum verwertet werden können, ergibt sich aus folgenden Betrachtungen.[1])

Die atmosphärische Luft besteht nach Ausscheidung von Wasserdampf und Kohlensäure dem Volumen nach aus

$$N = 79{\cdot}04$$
$$O = 20{\cdot}96$$
$$= 100{\cdot}00$$

oder es ist das Volumenverhältnis

$$\frac{N}{O} = 3{\cdot}771$$

und sie besteht dem Gewichte nach aus

$$N = 76{\cdot}78$$
$$O = 23{\cdot}16$$
$$= 99{\cdot}04$$

oder es ist (so genau überhaupt die vorhandenen Zahlen sich verarbeiten lassen) in der Luft das Gewichtsverhältnis

$$\frac{N}{O} = 3{\cdot}32$$

oder es ist das Gewichtsverhältnis

$$\frac{\text{Luft}}{\text{Sauerstoff}}\ \frac{N + O}{O} = 4{\cdot}32 \text{ (genauer } 4{\cdot}3152).$$

Aus den durch chemische Analyse ermittelten, wesentlichen Bestandteilen der aus der Verbrennung hervorgehenden Heiz- oder Rauchgase, also aus ihrem Gehalt an N, O, CO_2 und CO läßt sich schließen nicht nur auf die Vollkommenheit der Verbrennung, welche sich durch Fehlen von CO kundgibt, sondern auch auf die Quantität Luft, welche zur Verbrennung verwandt ist.

Nennt man nämlich O das Volum Sauerstoff, welches (pro Zeiteinheit) in den Rost eintritt, Ov dasjenige, welches davon verbraucht (mit C zu CO_2 verbunden) und On dasjenige, welches unverbraucht in den Schornstein entweicht, dann ist also:

$$O = Ov + On \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

und $\frac{O}{Ov}$ ist das Verhältnis der zugeführten zu der verbrauchten Luft

Gleichung (1) läßt sich zunächst so schreiben:

[1]) v. Reiche, Dampfkessel etc., III. Auflage, 1886, bearbeitet von Reintgen, bei Artur Felix in Leipzig.

$$Ov = O - On = O\frac{N}{N} - On = \frac{O}{N}N - On \quad . \; . \; . \; (2)$$

Dividiert man diese Gleichung in

$$O = \frac{O}{N} \cdot N \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

so entsteht

$$\frac{O}{Ov} = \frac{\frac{O}{N}N}{\frac{O}{N}N - On} = \frac{1}{1 - \frac{N}{O} \cdot \frac{On}{N}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

Nun ist, wie wir aus dem früheren wissen, in der atmosphärischen Luft das Volumverhältnis $\frac{N}{O} = 3{\cdot}771$, und hiermit wird aus (4):

$$\frac{O}{Ov} = \frac{1}{1 - 3{\cdot}771\,\frac{On}{N}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (5)$$[1]

Die Praxis setzt ebenso häufig (annähernd genau)

$$\frac{N}{O} = \frac{79}{21},$$

und rechnet dann mit der hiermit aus (4) resultierenden Formel:

$$\frac{O}{Ov} = \frac{21}{21 - 79\,\frac{On}{N}}. \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (6)$$

Die Umwandlung des Sauerstoffes der Luft in Kohlensäure durch Aufnahme von Kohlenstoff aus dem Brennmaterial vollzieht sich nun ohne Änderung des Volumens (wenn wir absehen von der durch die Wärmeentwicklung veranlaßten Ausdehnung). Es ist nämlich

$$C + \underbrace{O_2}_{2\text{ Vol.}} = \underbrace{CO_2}_{2\text{ Vol.}}$$

Findet also nur dieser eine Prozeß statt, so ist das Volumen der nach dem Schornstein ziehenden Rauchgase — bezogen auf Druck und Temperatur der atmosphärischen Luft, welche zur Verbrennung diente — genau so groß als das Volumen der durch den Rost eintretenden Luft.

Bei der Verbindung des Sauerstoffes mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd und mit Wasserstoff zu Wasser findet allerdings eine Volumänderung

[1]) Formel 5 und 6 erhält man auf kürzerem Wege, wenn man setzt

$$\frac{O}{Ov} = \frac{N}{N - 3{\cdot}771\,On} \quad \text{beziehungsweise} \quad = \frac{N}{N - \frac{79}{21}\,On}.$$



statt derart, daß an die Stelle des verbrauchten Sauerstoffvolumens das doppelte Volumen an Kohlenoxyd und Wasserdampf tritt.[1]) Diese beiden Prozesse treten jedoch gegen den erstgenannten meist so sehr in den Hintergrund und werden zum Teil durch andere Umstände paralysiert, daß man, für viele Fälle der Praxis hinreichend genau, das Volumen der eintretenden Luft gleich dem der abziehenden Verbrennungsgase — von Temperatur und Druck der ersteren — setzen kann.

Ist das aber der Fall, dann kann man das gesuchte Verhältnis $\frac{O}{Ov}$ nicht nur aus dem Verhältnis $\frac{On}{N}$, sondern auch noch durch andere Verhältnisse, z. B. durch solche, in denen CO_2 vorkommt, bestimmen, indem man die Volumina von Ov und CO_2 einander gleichsetzt, und hat dann also direkt: $\frac{O}{Ov}$ ist gleich dem Volumen des Rauchgasgemisches minus Volumen des Stickstoffes darin geteilt durch das Volumen des Gehaltes an Kohlensäure, also wenn wir das Luftvolumen mit L bezeichnen

$$\frac{O}{Ov} = \frac{L - N}{CO_2} = \frac{O}{CO_2}$$

oder wenn wir CO_2 und $O = L - N$ in Raumprozenten angeben $O = L - N$ also $= 20{\cdot}96$ setzen (nach der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft)

$$\frac{O}{Ov} = \frac{20{\cdot}96}{CO_2}.$$

Diese Formel ist indessen nicht zu gebrauchen, weil in den Heizgasen außer N, O und CO auch stets noch CO, H, O etc. vorkommen.

In der Wochenschrift des Vereines deutscher Ingenieure (1883, S. 58) wird aus den Kohlenanalysen der Heizversuchsstation München geschlossen, daß wenn die Gasanalyse richtig sei, ungefähr sein müsse:

$$On + {}^{10}/_9\, CO_2 = 21 = O$$

das heißt also setzen, da $Ov + On = O$ ist,

$$Ov = {}^{10}/_9\, CO_2$$

und dann erhält man statt voriger Formel:

$$\frac{O}{Ov} = \frac{21}{{}^{10}/_9\, CO_2} = \frac{18{\cdot}9}{CO_2}. \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Durch Division der vor (7) stehenden beiden letzten Gleichungen folgt auch noch

$$\frac{O}{Ov} = \frac{{}^{10}/_9\, CO_2 + On}{{}^{10}/_9\, CO_2} = 1 + 0{\cdot}9\,\frac{On}{CO_2} \quad \ldots\ldots (8).$$

[1]) $C + \underbrace{O}_{1\text{ Vol.}} = \underbrace{CO}_{2\text{ Vol.}}\,;\ \underbrace{H_2}_{2\text{ Vol.}} + \underbrace{O}_{1\text{ Vol.}} = \underbrace{H_2O}_{2\text{ Vol.}}$

Diese Formeln stimmen auch gut mit Dr. Buntes Angabe[1]) überein, wo derselbe $\frac{O}{Ov} = 1\cdot43$ berechnet aus $CO_2 = 13$.

Übrigens läßt sich das Verhältnis des eingeführten Luftquantums zu dem für die Verbrennung des Brennstoffes (wenn als Kohlenstoff angenommen) theoretisch notwendigen Luftquantums aus dem Kohlensäure-(Kohlendioxyd-)gehalt der Rauchgase auch aus viel einfacheren Betrachtungen ableiten. Da Sauerstoff bei vollständiger Verbrennung von Kohlenstoff zu CO_2 das gleiche Volumen dieses Gases liefert, so enthalten die Verbrennungsgase, falls man eben nur CO_2 und N in denselben annimmt, bei dem Sauerstoffgehalt der Luft von rund 21% auch 21 Volumprozente CO_2 und 79 Volumprozente Stickstoff. Enthalten aber Verbrennungsgase 15 Volumprozente CO_2, so müssen daneben noch unverbraucht 6% Sauerstoff vorhanden sein. Diese betragen, auf die 15% verbrauchten Sauerstoff bezogen, $100 : 15 = x : 6$, demnach $\frac{6 \times 100}{15} =$ 40% Überschuß an Sauerstoff und demnach relativ auch als Luft; demnach ist das Verhältnis der zugeströmten Luftmenge zu der für die Verbrennung des Brennstoffes (als Kohlenstoff) theoretisch notwendigen Luftmenge $= \frac{140}{100} = 1\cdot4$. Machte z. B. dagegen der Kohlendioxydgehalt der Rauchgase einer Feuerung nur 7% aus, so sind 14% Sauerstoff unverbraucht vorhanden und der Luftüberschuß würde dann $100 : 7 = x : 14$, $\frac{14 \times 100}{7} = 200\%$ betragen.

In der Tat hat man schon mehrfach den direkt durch Analyse ermittelten CO_2 Gehalt der Rauchgase zur Bestimmung des eingezogenen Luftquantums verwendet; man hat aber auch schon verschiedene Apparate konstruiert, welche aus dem spezifischen Gewicht der Rauchgase den Schluß auf deren Kohlensäuregehalt ziehen lassen, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht.

Wenn 1 m^3 Luft bituminöse Kohle vollständig verbrennt, so verbinden sich erfahrungsgemäß, alles in Volumprozenten ausgedrückt, 18—19% O mit C zu ebensoviel Prozent CO_2 2—3% O verbindet sich mit H zu doppelt so viel 4—6% Wasserdampf. Diese Gase mischen sich mit den 79% N der Luft zu den sogenannten Verbrennungsgasen oder Rauchgasen. Es entstehen also durch vollständiges Verbrennen von 100 m^3 Luft 102—103 m^3 Verbrennungsgase (bei gleicher Temperatur).[2])

[1]) III. Bericht der Heizversuchsstation München, S. 5. Separatabdruck aus dem bayrischen Industrie- und Gewerbeblatt, 1882, Heft II. und III.

[2]) Cario, Artikel Feuerungsanlagen in Luegers Lexikon der gesamten Technik.

Bei gewöhnlicher Temperatur wird der Dampf als Wasser kondensiert und es bleiben 97—98 m^3 Verbrennungsgase übrig, deren Gewicht um das Gewicht des aufgenommenen C, d. i. 10·97 *kg* größer ist als vor der Verbrennung. Da 98 m^3 Luft 126·71 *kg* wiegen, so ist das spezifische Gewicht der Verbrennungsgase $\frac{126{\cdot}71 + 10{\cdot}97}{126{\cdot}71} = 1{\cdot}087$, das sich dem spezifischen Gewichte der Luft (d. i. 1) umso mehr nähert, je mehr solche unverbrannte Luft in den Verbrennungsgasen enthalten ist.[1])

Das spezifische Gewicht von Gasen läßt sich nun bekanntlich durch nach verschiedenen Prinzipien konstruierte Apparate ermitteln, welche somit zur Bestimmung des CO_2 Gehaltes der Rauchgase und damit zugleich des Verhältnisses der in eine Feuerung eingeführten Luftmenge zur theoretisch erforderlichen Luftmenge sich verwenden lassen. Im Folgenden seien nun die verbreitetsten und wichtigsten zur Kontrolle des Feuerungsbetriebes dienenden Apparate beschrieben.

Das Dasymeter[2]) von A. Siegert und W. Dürr (Fig. 32) besteht aus einer feinen Wage, welche sich in einem luftdicht verschlossenen und mit einer Glasscheibe versehenen gußeisernen Kasten befindet. Der eine Wagebalken trägt eine Glaskugel von rund 3 *q* Inhalt, in welcher atmosphärische Luft eingeschlossen ist, der andere ein Gegengewicht mit dem Kompensator. Durch ein neben dem Apparate angebrachtes, durch den Überdruck der atmosphärischen Luft betriebenes Luftstrahlgebläse wird das zu untersuchende Gasgemisch aus dem Kamine angesaugt, welches zuerst durch ein vor dem Apparate befindliches Filter von Ruß und Staub befreit wird und dann in den gußeisernen Kasten gelangt, den es ganz ausfüllt. Die in dem Gasgemische schwimmende Glaskugel sinkt oder hebt sich, je nachdem der Kohlensäuregehalt ab- oder zunimmt. Ein mit der Glaskugel verbundener Zeiger gestattet, auf einer in dem Gehäuse befestigten Skala den Kohlensäuregehalt, in Prozenten ausgedrückt, unmittelbar abzulesen.

Der Kompensator besteht aus der *U*-förmig gebogenen Glasröhre *tabl*, welche bei *l* zugeschmolzen, bei *t* offen gelassen und in der unteren Hälfte mit Quecksilber gefüllt wurde. In der Kugel *l* ist eine kleine Luftsäule eingesperrt, welche jedoch allen Einflüssen der Temperatur und des Luftdruckes ebenso ausgesetzt ist wie die übrige Luft im Kasten. Steigt oder fällt die Dichte der letzteren infolge von Temperatur- oder Luftdruckänderung, so findet das Gleiche mit der Luftsäule in der Kugel *l* und dem Rohrstück statt. Hierdurch wird aber deren Volumen verändert, und eine dieser Veränderung entsprechende Quecksilbermenge tritt nach

[1]) Die Dichte des Kohlendioxydes (Luft = 1) ist 1·524.

[2]) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1891, S. 792 u. 1888, S. 1102.

der einen beziehungsweise anderen Seite hin und verschiebt dadurch den Schwerpunkt der ganzen Wage, wodurch, wie leicht einzusehen, das gestörte Gleichgewicht wieder hergestellt werden kann.

Angenommen, es steige der Luftdruck bei gleichzeitiger Abnahme der Temperatur so viel, daß die Dichte der Luft den doppelten Betrag wie unter den ursprünglichen Verhältnissen annimmt: dann wird unter Vernachlässigung des Eigengewichtes der Quecksilbersäule das Volumen von *lb* auf die Hälfte seines früheren Wertes gebracht. Dadurch wird

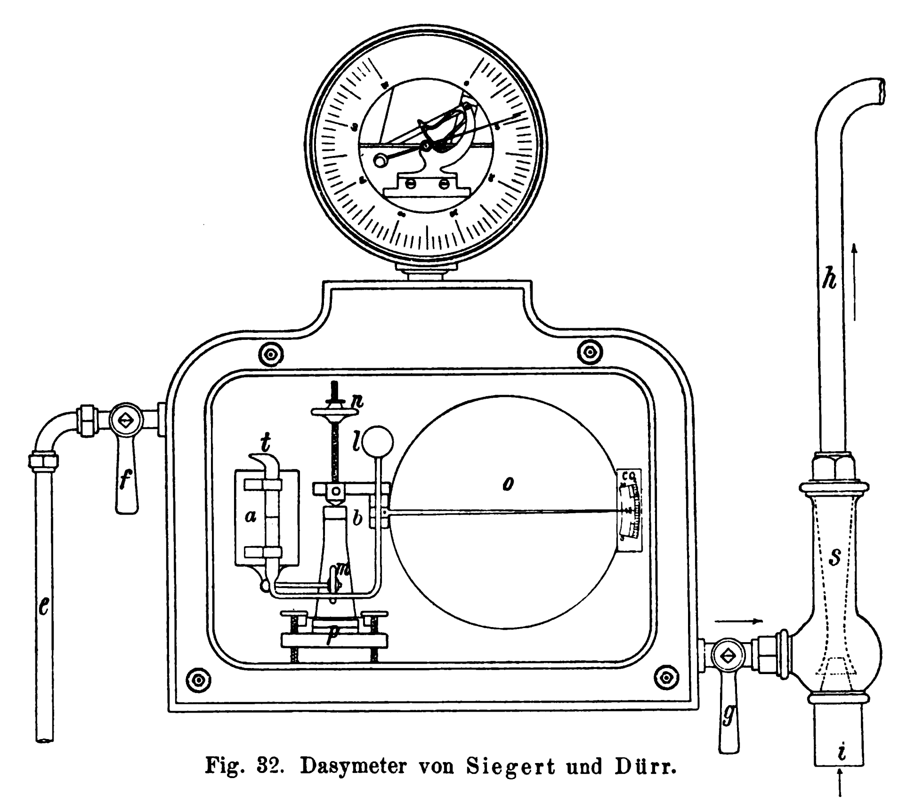


Fig. 32. Dasymeter von Siegert und Dürr.

aber eine Quecksilbermenge $= \frac{1}{2}\, ab$ vom äußeren Kompensatorschenkel nach dem inneren verlegt und das statische Moment des Gegengewichtes entsprechend verkleinert. Es ist leicht zu berechnen, wie groß die Abmessungen der einzelnen Teile sein müssen, damit diese Verminderung des Gegenmomentes den durch Störung vermehrten Auftrieb der Kugel gerade ausgleicht und die Zeigerspitze trotz beliebiger Änderung der Zustände ihren Platz auf der Skala beibehält.

Die solcherweise berechneten Abmessungen sind jedoch nicht so leicht genau einzuschalten. Es ist deshalb der Kompensator um einen

seiner Schenkel drehbar eingerichtet, so daß seine Mittelebene mit jener der ganzen Wage irgendeinen Winkel $> a <$ einschließen kann, dessen Größe sich sehr leicht ändern läßt. Bezeichnet r den Abstand der Kompensatorschenkel von Mitte zu Mitte, so wird durch die erwähnte Drehung der Mittelebene um den Winkel a das statische Moment des in der Glasröhre verschobenen Quecksilbergewichtes im Verhältnisse von $r \cdot \cos a$ verkleinert, und es wird, falls man den Kompensator senkrecht zur Wage stellen, also $a = 90^0$ machen würde, gleich Null. Dagegen erreicht die Wirksamkeit des Kompensators ihr Höchstmaß bei Parallelstellung mit der Wageebene.

Es ist klar, daß zwischen diesen Grenzwerten eine Lage gefunden werden kann, bei welcher der beabsichtigte Zweck vollkommen erreicht wird. In der Tat gelang es bald, einen Dasymeter-Kompensator so genau einzustellen, das eine Luftdruckänderung von $^1/_4$ *mm* gar keine Änderung in der Stellung der Zeigerspitze hervorrief, während nach der Drehung des Kompensators auf $a = 90^0$ die Glaskugel bei ganz kleinen Druckschwankungen sofort bald oben, bald unten anstieß. Ebenso vorzüglich kompensieren sich die Zugschwankungen — eine nicht zu übersehende Eigenschaft unseres Gerätes — und die Änderungen der Temperatur. Tritt nun Kohlensäure (oder anderes Gas, dessen spezifisches Gewicht von dem der Luft verschieden ist) in den Kasten ein, so wirkt dieses auf die Kugel ein und der Zeiger gibt diesen Einfluss an.

Da 1 q atmosphärischer Luft unter normalen Verhältnissen 1294 *mg* und 1 q Kohlensäure 1967 *mg* wiegt, so ist letztere 1967 — 1294 = 673 *mg* schwerer. Enthält die Luft 1% CO_2, so wächst ihr Auftrieb auf je 1 q um 6·73 *mg*. Da unsere Kugel 3 q Inhalt besitzt, erleidet sie von jedem Prozent CO_2 einen Auftrieb von $3 \times 6{\cdot}73 = 20{\cdot}19$ *mg*.

Um die schädliche Wirkung der schwefligen Säure und anderer Bestandteile der Rauchgase zu verhüten und dem ganzen Apparate größere Empfindlichkeit und Dauerhaftigkeit zu verleihen, sind die Wagenbalkenschneiden und Pfannen aus Edelsteinen hergestellt, und alle Metallteile stark vergoldet. Eine längere Reihe von vergleichenden Versuchen hat ergeben, daß die Angaben des Dasymeters durchaus zuverlässig sind.

Die Teilung der Skala erfolgt unter Zuhilfenahme analysierter Gasgemische. Die Aufstellung des Gerätes erfolgt in der Weise, dass eine eiserne Röhre in den Kaminfuchs innerhalb des Kaminschiebers eingesetzt und mittels Rohrleitung an ein Rußfilter angeschlossen wird, von welchem ab die erstere bis zu den in der Nähe des Heizerstandes fest aufgestellten oder eingemauerten Kästen des Dasymeters sich fortsetzt. Von der Ausmündung des letzteren führt sodann eine zweite Rohr-

leitung in den Kamin hinter den Kaminschieber. Da innerhalb, beziehungsweise außerhalb des Kaminschiebers stets verschiedene Spannungszustände vorhanden zu sein pflegen, so entwickelt sich ein Gasstrom, welcher fortgesetzt neue Gasproben durch den Apparat befördert.

Zur weiteren Überwachung der Feuerung dienen der Zugmesser (siehe die Beschreibung auch schon früher bei Zugmesser) und ein Pyrometer. Der Zugmesser, oben bereits früher abgebildet, besteht im wesentlichen aus einem trommelförmigen Gehäuse, in dem sich eine Sperrflüssigkeit befindet, erfahrungsmäßig am besten Paraffinöl. In die Flüssigkeit taucht eine dünnwandige, durch ein Gegengewicht hoch gehaltene, metallene Glocke, in welche das Saugrohr mündet, das mit der Stelle, an welcher die Zugstärke gemessen werden soll, in Verbindung gebracht wird. Im Zustande der Ruhe hat die Glocke ihre höchste Lage. Sowie aber infolge des Zuges die geringste Luftverdünnung entsteht, senkt sich die Glocke, welche Bewegung mittels eines Zahnsektors auf einen Zeiger übertragen wird, so dass man auf einer Skala die Stärke des Zuges abmessen kann, der ja durch den Spannungsunterschied zwischen der äußeren atmosphärischen Luft und den Kamingasen hervorgerufen wird. Wird der Zugmesser mit dem Dasymeter in Verbindung gebracht, so dient er zugleich zur Kontrolle des letzteren, insofern er erkennen läßt, ob die Gase ihn wirklich durchströmen oder ob die Rohrleitungen oder Rußfilter verstopft oder undicht geworden sind.

Über die Nachteile, welche die Heranziehung der Rauchgasanalyse für die Beurteilung des Luftüberschusses und somit auch des Zuges hat, hat sich M. Arndt in einem Vortrage des Aachener Bezirksvereines deutscher Ingenieure (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1893, S. 801) ausgesprochen. Nach ihm sei die chemische Analyse nicht nur verhältnismäßig unständlich, sondern gestatte nur eine Beurteilung über den Verbrennungsprozeß zu bestimmten Zeiten und ermögliche es nicht eine dauernde Kontrolle[1]) über die Feuerung auszuüben. Es sei ein dringendes Bedürfnis nach einem Apparate, welcher dauernd mit der Feuerung in Verbindung bleibt und ohne Zutun des Heizers selbsttätig in einer für ihn verständlichen Weise einen Anhaltspunkt für die Beurteilung des Luftüberschusses gibt. Arndt hat sich bemüht das von Siegert und W. Dürr in München konstruierte Dasymeter zu vereinfachen, ist dann später von dem Prinzip des Dasymeters gänzlich abgekommen und hat zur Beurteilung der Rauchgase, beziehungsweise der Feuerungsverhältnisse einen von ihm Ökonometer genannten Apparat konstruiert, der im folgenden beschrieben ist.[2])

[1]) Auch Siegert und Dürr sind aus denselben Gründen zur Konstruktion ihres Dasymeters geschritten. (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1891, S. 792.)

[2]) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1893, S. 802.



Dem Ökonometer (Fig. 33) liegt der Erfindungsgedanke zugrunde, bei einer im luftdicht abgeschlossenen Raume stehenden Gaswage die zu untersuchenden Gase unmittelbar zu wägen und so durch den zu ihrer Aufnahme dienenden Gasbehälter *e* strömen zu lassen, daß hierbei die Gaswage ohne Widerstand und daher mit größter Empfindlichkeit sowie unabhängig von Druck- und Temperaturunterschieden arbeiten kann.

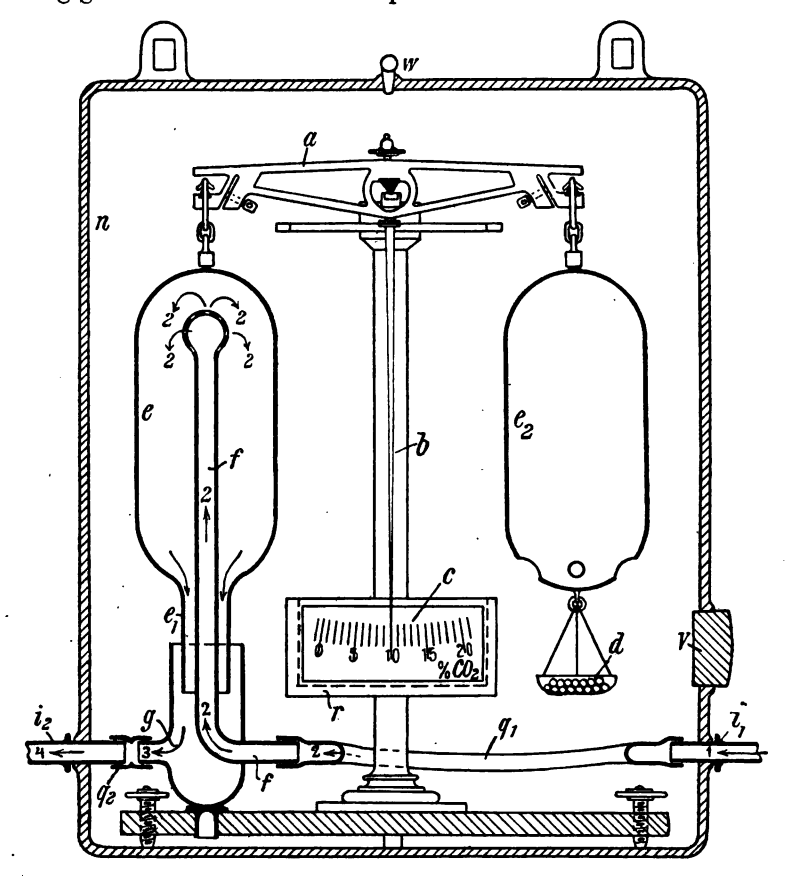


Fig. 33. Arndts Ökonometer.

Zu diesem Zweck trägt der beliebig gestaltete Wagebalken *a* den ausbalancierten, beliebig gestalteten, aber unten offenen Gasbehälter *e*, welcher vorteilhaft noch einen Hals e_1 erhält. Unterhalb des Gasbehälters *e* ist das Gasleitungsrohr *f* sowie die Gasleitungsstutzen *g* so befestigt, daß sich der Gasbehälter *e* und dessen Hals e_1 bei den Schwingungen des Wagebalkens *a* frei auf und abwärts bewegen kann, ohne die Gasleitungsteile *f* und *g* zu berühren. Das Rohr *f* ragt in den Gasbehälter *e* hinein. Die aus den vorgenannten Hauptbestandteilen gebildete Gaswage

steht in einem luftdicht verschlossenen, mit einer oder mehreren Glasscheiben versehenen Kasten. Der Kasten besitzt zwei Schlauchstutzen i_1 und i_2; von diesen wird der Stutzen i_1 durch Schlauch q_1 mit dem Rohr f, und der Stutzen i_2 durch Schlauch q_2 mit dem Stutzen g in Verbindung gebracht. Verbindet man nun ferner außerhalb des Kastens n den Stutzen i_1 mit der Gasquelle und den Stutzen i_2 mit einer beliebigen Saugvorrichtung, so wird zunächst ein Teil der in dem Kasten n befindlichen Luft abgesaugt, d. h. diese Luft wird auf eine der Zugstärke bei i_2 entsprechenden Depression verdünnt.

Ist diese Depression erreicht, dann können nur noch die zu wägenden Gase, und zwar in den Pfeilrichtungen 2 und 3 den Apparat durchziehen, indem sie durch Stutzen i_1 eingesaugt, durch Schlauch q_1 und Rohr f aus dem letzteren oben austretend in den Gasbehälter e gelangen, ihn ausfüllen und durch den Stutzen g_2, Schlauch q_2 und den Stutzen i_2 wieder abgesaugt werden. Die Gase können ebenfalls in umgekehrter Richtung den Apparat durchziehen, also auch durch Stutzen i_2 eingesaugt und durch Stutzen i_1 abgesaugt werden, jedoch muß in diesem Falle der Stutzen i_1 mit der Saugvorrichtung und Stutzen i_2 mit der Gasquelle verbunden sein, welche Anordnung bei spezifisch leichten Gasen angewendet wird, so daß sie ihrer Tendenz folgend von unten nach oben aufsteigend das Gefäß e durchstreichen.

Mit dem Wagebalken a ist der Zeiger b starr verbunden; er folgt demnach den Bewegungen der Gaswage und schwingt an einer Teilung c, welche sich auswechselbar in einem Führungsrahmen r befindet.

Die Skala c erhält entweder eine Teilung, bei welcher die Entfernung von einem Teilstrich zum anderen einer Gewichtseinheit entspricht, oder eine solche, bei welcher der Abstand je zweier Teilstriche sich auf ein Volumprozent einer in dem zu wägenden Gasgemisch enthaltenen bestimmten Gasart bezieht. So zeigt beispielsweise in der Zeichnung die Skala c eine Teilung für Volumprozente Kohlensäure zum Zwecke der prozentischen Bestimmung des Kohlensäuregehaltes in Rauchgasen.

Die infolge der Auf- und Abwärtsbewegungen des Gasbehälters e um das feststehende Rohr f eintretenden Differenzen des Gasvolumens im Gasbehälter e werden bei der Einteilung der Skala c berücksichtigt.

Der Gasbehälter e und der Wagebalken a werden entweder durch ein ebenfalls unverschlossenes, in seinem Auftriebsvermögen demjenigen des Gasbehälters e gleichwertiges Kompensationsgefäß e_2 und außerdem noch durch Gewichtskörperchen d oder aber lediglich durch die letzteren so ausbalanciert, daß der Zeiger b des Wagebalkens a dann auf den Nullstrich der Skala c einspielt, wenn man atmosphärische Luft durch den Apparat saugt.

Um dieses Ausbalanzieren schnell und bequem vornehmen zu können, befindet sich seitwärts im Kasten *n* ein Verschluß *v*, nach dessen Entfernung je nach Bedarf Gewichtskörper *d* zugefügt oder fortgenommen werden. Ferner ist an der obersten Stelle des Kastens *n* ein zweiter Verschlußstopfen *w* zu dem Zwecke angeordnet, daß man zeitweise in den Kasten *n* atmosphärische Luft einsaugen kann, falls wirklich aus *g* Gase diffundiert sein sollten, was aber trotz darauf gerichteter eingehender Untersuchungen noch nicht beobachtet werden konnte: vielmehr ist, mit Hilfe durch den Apparat geleiteten dichten Rauches, eine scharfe Trennung des zu wägenden Gasgemisches von der im Kasten *n* enthaltenen Luft in Gestalt einer scharf begrenzten Ebene am unteren Ende des Halses e_1 deutlich zu beobachten.

Dadurch, daß der Gasbehälter *e* unten offen, somit der Druck innerhalb desselben stets derselbe ist wie außerhalb, kommen Druckschwankungen und Barometerstand bei diesem Apparat nicht in Betracht. Ebenfalls sind Temperatureinflüsse ausgeschlossen, weil die den Apparat langsam durchströmenden Gase die darin vorwaltende Temperatur in den engen Gasleitungen sofort annehmen. Arndt hat an den verschiedensten Stellen in dem Kasten *n* gleichzeitig eine Anzahl Thermometer aufgehängt, auch in dem Gasbehälter *e*, ohne Thermometerunterschiede zu bemerken. Bedingung ist nur, daß der Apparat vor unmittelbarer Wärmestrahlung geschützt ist.

Die Wirkungsweise der Wage ist sehr einfach, denn die zu wägenden Gase hängen unmittelbar an ihr in dem Gasbehälter *e*; es muß also jeder Gewichtsunterschied der Gase unmittelbar angezeigt werden. Die Ausmittlung und Einteilung der Skala erfolgt unter Benützung durch den Gasbehälter *e* geleiteter Gase von bekannter Mischung und bekanntem Volumgewicht.

Der Ökonometer wird möglichst nahe beim Heizerstand an der Wand aufgehängt und sodann durch enge Rohrleitungen einesteils mit den Feuerzügen des Kessels zur Gasentnahme, andernteils mit dem Schornstein oder Fuchskanal zur Gasleitung verbunden. Für die Gasentnahme werden vorteilhaft an zwei Stellen Eisenröhren in die Feuerzüge eingesetzt und zwar ein Rohr an der Stelle, wo die Verbrennung eben beendet ist, das zweite dagegen zwischen dem Ende der Feuerzüge des Kessels und dem Rauchschieber, aber an einer Stelle, wo die abzusaugenden Rauchgase den letzteren noch nicht erreicht haben. Mittels der Untersuchung beziehungsweise Wägung der Gase auf Kohlensäure aus dem ersteren Rohre kann man zunächst die Rostverhältnisse dem günstigsten Verbrennungsergebnis anpassen, d. h. man wird den Rost auf das Flächenmaß abändern, bei welchem die Rauchgase — z. B. diejenigen einer gewöhnlichen Planrostfeuerung, welche gut beschickt

wird, vor allem aber gut mit frisch brennendem Brennstoff bedeckt ist — 13 bis 14% Kohlensäure enthalten, welcher Gehalt der wirtschaftlich günstigsten Grenze bei Planrosten entspricht. Dieser Gasentnahmestelle wird man sich aber nur zeitweise bedienen, und zwar lediglich zu dem Zwecke der Kontrolle darüber, ob die Rostverhältnisse solche sind, um den Brennstoff mit möglichst geringen Verlusten verbrennen zu können. Dauernd dagegen wird man die Gase aus dem zweiten Rohr am Ende der Feuerzüge absaugen, denn dortselbst wird man stets weniger Volumprozente Kohlensäure in den Rauchgasen vorfinden als in dem ersten Rohr, weil die letzteren auf ihrem Wege von dem ersten zum zweiten Rohr sich noch mit derjenigen Luftmenge vermischen, welche durch das Kesselmauerwerk, dessen Fugen, Risse u. s. w. in die Feuerzüge eintritt und den Kohlensäuregehalt der Rauchgase stellenweise, bei schlechter oder im schlechten Zustande befindlicher Kesseleinmauerung, fast auf die Hälfte herabsetzt. Da aber doch der Kohlensäuregehalt den Maßstab für die Berechnung des in einer Feuerung einschließlich der Feuerzüge auftretenden Luftüberschusses und des daraus entstehenden Wärmeverlustes bildet, so kann es auch keinem Zweifel unterliegen, daß die laufende Gasentnahme am Kesselende, also vor dem Rauchschieber, die einzig richtige ist und bleibt man für gute Dichtheit des Kesselmauerwerkes besorgt, so werden auch an dieser Stelle die Gase noch immer einen befriedigenden Kohlensäuregehalt, richtige Bedienung des Rostes vorausgesetzt, besitzen.

Arndt gibt dann folgende Tabelle zur Ermittlung des Luftüberschusses aus dem CO_2-Gehalte der Rauchgase, der Wärmeverluste etc.:

Wärme- oder Kohlenverluste bei Dampfkessel- und ähnlichen Feuerungen für Steinkohlen.

Zeigt der Ökonometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	% Kohlensäure
so geht durch den Schornstein rund	18·9	9·5	6·3	4·7	3·8	3·2	2·7	2·4	2·1	1·9	1·7	1·6	1·5	1·4	1·3	mal mehr Luft als theoretisch erforderlich
und es beträgt sodann bei 270° C. der Abgase der Kohlenverlust rund	180[1]	90	60	45	36	30	26	23	20	18	16	15	14	13	12	%[1]

[1]) Diese Verlustzahlen sind wohl meistens etwas zu niedrig bewertet. Die Größen dieser Verluste sind ja auch von dem pyrometrischen Effekte am Roste und nicht bloß von der Essengastemperatur abhängig.

Übersteigt der Wärmeverlust vorübergehend 100% z. B. beim Abschlacken des Rostes bei geöffnetem Zugschieber u. s. w., so wird der mehr als 100% betragende Verlust der in dem Kesselmauerwerk u. s. w. aufgespeicherten Wärmemenge entnommen, bedeutet mithin ebenfalls einen Kohlenverlust.

Der Verlustberechnung ist eine Temperatur der dem Rost zuströmenden Luft von 20°, also ein Unterschied zwischen dieser und der Temperatur der abziehenden Gase von 250°, zu Grunde gelegt, einem Durchschnittswert bei Dampfkesselfeuerungen entsprechend. Ist jedoch der Temperaturunterschied größer oder kleiner als 250°, so wachsen oder fallen auch die in Zeile 3 aufgeführten Wärme- oder Kohlenverluste proportional dem Unterschied.

Viktor Sirk (Zeitschrift der Dampfkessel-Untersuchungs- und Versicherungsgesellschaft in Wien, XX. Jahrgang, S. 123 und 134) veröffentlichte eine Studie, die mehrere theoretisch interessante und auch für die Praxis verwertbare Resultate ergab. Nach Sirk ist es als erwiesen anzunehmen, daß geringe Kohlengattungen mit gleicher Intensität verbrannt werden können wie vollwertige Kohlen und es ist nicht richtig, daß Kohlen minderer Qualität unmöglich höhere Kohlensäureprozente nachweisen ließen. Wohl ist es anderseits unverhältnismäßig schwieriger, geringe Kohlengattungen mit geringem Luftüberschusse zur Verbrennung zu bringen. Immerhin aber bleibt der Kohlensäuregehalt der Essengase ein Kriterium für die Qualität der Verbrennung und den Nutzeffekt der Heizung.

Aus einer von Sirk zusammengestellten Tabelle ist zu entnehmen:

1. Der Kohlensäuregehalt ist von dem Luftüberschusse direkt abhängig. Bei doppelter Luftzufuhr findet sich der halbe Prozentsatz an Kohlensäure.

2. Geringeren Einfluß hat das Verhältnis $\frac{C}{H}$. Bei doppeltem Luftüberschusse sind zwischen den praktikablen Werten von 24 bis 42 nur Schwankungen von 9·17 bis 9·58 zu bemerken.

3. Der Kohlensäuregehalt ist unabhängig von den absoluten Werten des Kohlenstoff- und Wasserstoffgehaltes der Kohle an und für sich.

4. Bei konstantem Kohlenstoffgehalte vermindert sich der Kohlensäuregehalt der Essengase mit steigendem disponiblen Wasserstoff.

5. Bei konstantem Wasserstoffgehalte variiert der Kohlensäuregehalt im umgekehrten Verhältnisse zum Kohlenstoffgehalte.

6. Einem mittleren Kohlensäuregehalt von

9·4% entspricht ein 2 -facher Luftüberschuß
7·5% „ „ $2^1/_2$ „ „



6·25%	entspricht ein	3	-facher	Luftüberschuß
5·3%	„	„	$3^1/_2$	„	„
4·68%	„	„	4	„	„

Außer diesen beschriebenen, speziell für die Bestimmung der Kohlensäure in Rauchgasen aus dem spezifischen Gewichte konstruierten und für die Kontrolle der Feuerungen bestimmten Apparaten sind zu letzterem Zwecke auch besonders zwei Apparate verwendbar, welche ursprünglich für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes im Leuchtgase, also für den Gaswerksbetrieb, ersonnen wurden, mit einer entsprechend abgeänderten Skaleneinteilung aber selbstverständlich auch zur Bestimmung der Dichte spezifisch schwererer Gase, demnach indirekt zur Kohlensäurebestimmung in Rauchgasen sehr zweckmäßig verwendet werden können. Es sind dies die Gaswage von Lux (Journal für Gasbeleuchtung, 1887, S. 251, auch Lunge-Böckmann, chemisch-technische Untersuchungen, II. Band, S. 652), einer der älteren diesbezüglich verwendeten Apparate und der Apparat von Krell (Journal für Gasbeleuchtung, 1899, S. 212, auch Lunge-Böckmann, chemisch-technische Untersuchungen), also neuen Datums, welch letzterer von G. A. Schultze, Berlin SW., Schönebergstraße 4, Fabrik für technische Maßinstrumente (Spezialität-Feuerungskontrollapparate) als Rauchgasanalysator mit und ohne Registriervorrichtungsystem Krell-Schultze, D. R.-P. Nr. 88.188, in die Kontrolle der Feuerungsanlagen eingeführt wurde. Die Lux'sche Gaswage (Fig. 34 *a*, *b*) beruht auf einem ähnlichen Prinzipe wie Arndts Ökonometer, nämlich auf der direkten Auswägung gleicher Luftvolumina und Gasvolumina, deren Gewichtsverhältnis als spezifisches Gewicht auf einer empirischen Skala durch den Ausschlag der Wage beziehungsweise eines die Fortsetzung des einen Wagebalkens bildenden Zeigers angezeigt wird.

Die kugelige Glocke a, welche aus Glas sein kann, balanziert mit dem Balken B auf dem Ständer S mittels zweier Stahlspitzen $s\,s_{,,}$ welche in konisch vertiefte Stahllager eingreifen. Das gabelförmige Ende des Ständers trägt die Gaszu- und -Ableitung r, o, welche über den mit Quecksilber gefüllten Näpfchen $p\,p_1$ ausmünden. Über diesen Ausmündungen spielen zwei vom Wagebalken ausgehende und normal zu seiner Schwingungsebene gerichtete Röhrchen, deren knieförmig abgebogene Enden unter Quecksilbertauchung der Näpfchen $p\,p_1$ mit der Gaszu- und -Ableitung des Ständers in Verbindung stehen, ohne die Beweglichkeit des Wagebalkens zu hindern. Das eine der Röhrchen leitet das Gas durch das zentrale Rohr m in die Glocke a, das andere leitet es wieder aus der Glocke und dem Wagebalken ab. Zur Adjustierung der Wage, deren Glocke zunächst mit Luft gefüllt zu denken ist, verschiebt man das Gegengewicht g so lange, bis die Spitze des Zeigers auf Bezeich-

nung 1 der Bogenskala weist, wodurch das spezifische Gewicht der Luft = 1 markiert sein soll. Während nun zur Untersuchung des Leuchtgases die empirische Skala unter Zugrundelegung des Ausschlages hergestellt wird, den die Wage nach völliger Verdrängung der Luft durch reines Wasserstoffgas mit diesem Gase schließlich gefüllt zeigt, muß zur Benützung dieses Apparates zur Bestimmung der Kohlensäure in Rauchgasen die Skala unter Zugrundelegung des Ausschlages mit einem Kohlendioxydgas beziehungsweise der Ausschlag mit analytisch untersuchten Gemischen desselben mit atmosphärischer Luft hergestellt werden.

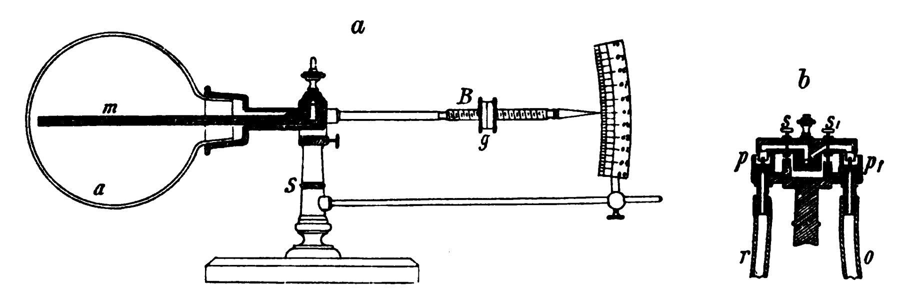


Fig. 34. Gaswage von Lux.

Eine verbesserte und zweckmäßigere Modifikation des Apparates zeigt Fig. 35. Die Wage ist in einem verschließbaren Glaskasten montiert, die Gaszu- und -Ableitung erfolgt durch zwei mit Schlauchtülle und Hahn versehene Röhren von einer Schmalseite des Wägekastens aus. Zum Gebrauch muß man der Wage einen festen, Erschütterungen nicht ausgesetzten Standort geben, an welchem sie auch von direktem Sonnenlicht nicht getroffen wird und überhaupt keinen schroffen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist. Mittels der Stellschrauben und unter Beobachtung einer am Kastenboden befestigten Dosenlibelle wird sie genau wagerecht eingestellt. In der Ruhe sitzt der Wagebalken fest auf dem Ständer; er wird aber aus der Arretierung freigegeben, indem man eine an der rechten Schmalseite des Kastens befindliche Handscheibe dreht. Wenn die Glocke mit Luft gefüllt ist und der Reiter auf der äußersten Marke 1 sitzt, so muß der Zeiger genau auf die Nullmarke einspielen. Durch Ausbalanzierung des Wagebalkens mittels des horizontal verschiebbaren Mutterschräubchens, das links über der Mitte des Balkens sichtbar ist, kann die gewünschte Anzeige eingestellt werden.

Der von Schultze nach dem Krell'schen Apparate[1]) konstruierte

[1]) Siehe den Bericht von Oberingenieur Reischle in der Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines, 1898, S. 100, über die zweite Kraft- und Arbeitsmaschinen-Ausstellung in München.

Rauchgasanalysator (System Krell-Schultze) wird in zwei Typen geliefert: ohne Registriervorrichtung und mit Registriervorrichtung.

Im folgenden ist die erstere Form dieses Apparates beschrieben und abgebildet; es sind an demselben neuester Zeit noch einige Verbesserungen vorgenommen worden. Die Beschreibung des Apparates mit Registriervorrichtung ist hier jedoch nicht aufgenommen worden und ist dieselbe aus der ausführlichen Beschreibung und Anleitung etc. der genannten Firma ersichtlich.

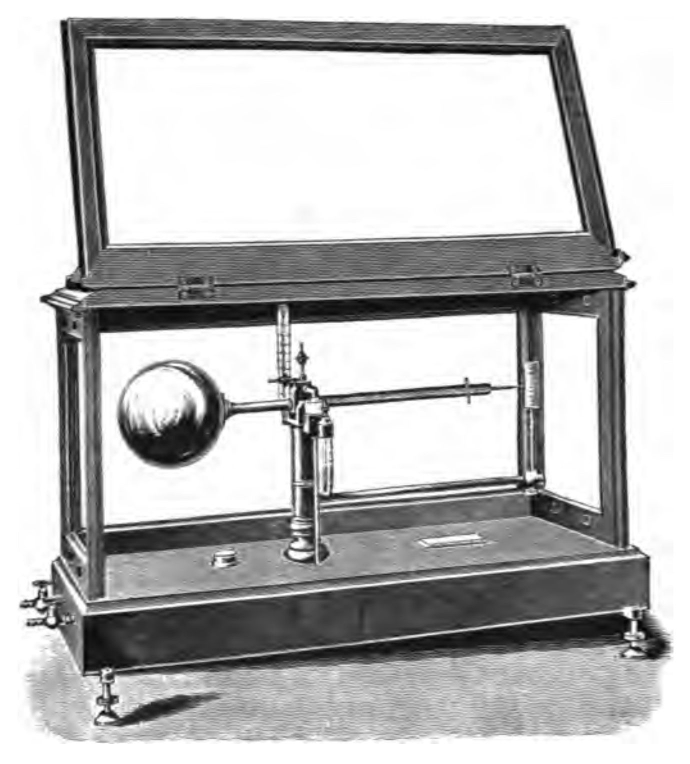


Fig. 35.

Im wesentlichen ist das Prinzip des Apparates, mittels eines äußerst empfindlichen Mikromanometers den Druckunterschied, welcher von einer Luftsäule gegenüber einer gleich hohen Säule von Verbrennungsprodukten infolge des CO_2-Gehaltes von größerem spezifischen Gewicht erzeugt wird, zu messen und kontinuierlich anzuzeigen. Der Druckunterschied wird also durch das ungleiche spezifische Gewicht der Luft und der Verbrennungsprodukte erzeugt und ist mit Rücksicht auf das spezifische Gewicht der Kohlensäure desto größer, je größer der Gehalt an letzterer in den Verbrennungsprodukten ist.

Den Hauptteil des Apparates (Fig. 36 *a*, *b*, *c* und *d*) bilden die beiden Standröhren *a* und *b*. Dieselben sind gleich weit, gleich lang, senkrecht stehend und an ihrem oberen Ende zusammenlaufend, unten geschlossen.

Dem Standrohr *a* werden durch das verhältnismäßig enge, mit Regulierhahn *f* versehene Rohr *d* filtrierte und auf Raumtemperatur abgekühlte Verbrennungsprodukte zugeführt. In das Standrohr *b* dringt die Raumluft durch eine feine Öffnung, welche in eine vor dem Hahn *e* gelagerte dünne Messingscheibe gebohrt ist.

Das Ansaugen von Verbrennungsprodukten von *d* nach *a* und von Raumluft durch *e* nach *b* erfolgt für gewöhnlich durch den Schornsteinzug. Das bei *x* sich bildende Gemisch von Luft und Verbrennungsprodukten geht durch das Rohr *y*, an welchem sich das Zugmanometer *j* und das Regulierventil *h* befindet, ab. — Eventuell in den Standrohren *a* und *b* angesammeltes Wasser kann durch die Hähne *v* und *w* abgelassen werden.

In der Entfernung *H* unter der Absaugestelle *x* ist an dem Standrohr *b* der Dreiweghahn *k* und an *a* der Dreiweghahn *l* angebracht. Die Handgriffe dieser beiden Hähne sind durch eine Stange verbunden, um dieselben gleichzeitig bewegen zu können. Die Auslässe der beiden Hähne sind durch die Röhren *m* und *n* derartig mit den beiden Schenkeln des Mikromanometers verbunden, daß wenn die Handgriffe nach links stehen, beide Manometerschenkel Verbindung nach außen haben, entsprechend dem Nullpunkt der Skala.

Stehen beide Griffe nach rechts, so ist der Meßrohrschenkel des Mikromanometers mit dem Standrohre *b* und der Gefäßschenkel mit dem Standrohre *a* verbunden. Das Mikromanometer gibt in diesem Falle die zwischen den Stellen *k* und *l* stattfindende Pressungsdifferenz an.

Das Mikromanometer *y* von $^1/_{400}$ Neigung des Meßrohres gibt auf dem Skalenschieber die Prozente des Kohlensäuregehaltes direkt ablesbar an.

Das Mikromanometer *y* besteht aus dem auf der Grundplatte sitzenden und genau auf Maß ausgebohrten Dosengefäß *i* und dem seitlich in dieses unverrückbar fest eingesetzten Glasmeßrohr, welches gegen Horizont sehr geringe Neigung hat. Die Einstellung der richtigen Neigung des Messrohres wird durch die beiden rechtwinklig zueinander stehenden, mit der Dosenplatte fest verschraubten Wasserwagen vermittels der 3 Stellschrauben *p* bewirkt.

Die an dem Meßrohr anliegende Holzskala hat eine ungleiche, durch die Abweichungen des Meßrohres von der genau geraden Form bedingte Teilung. — Jedes Teilstrichintervall entspricht $^1/_{400}$ *mm* Wasser-

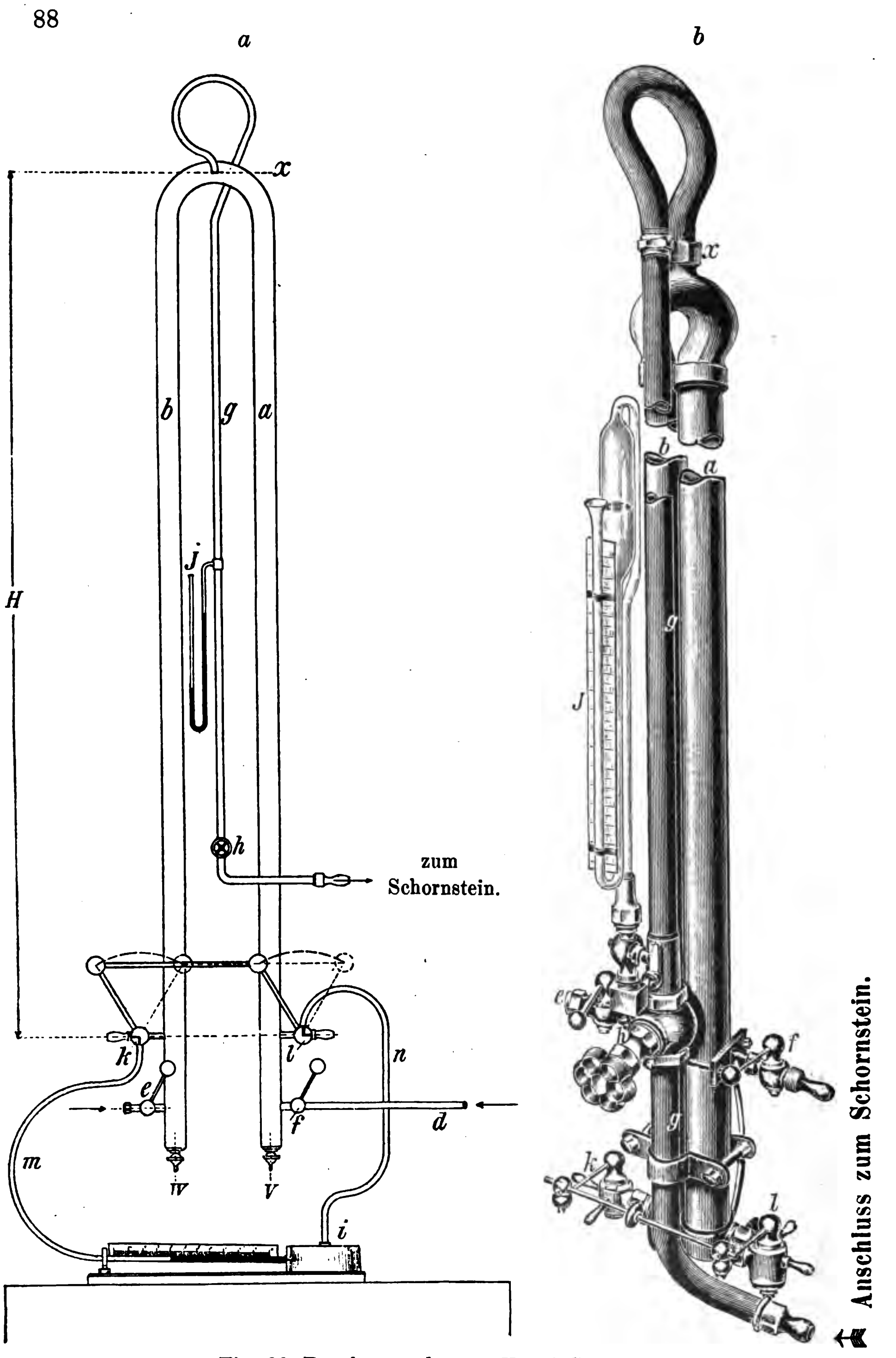


Fig. 36. Rauchgasanalysator Krell-Schultze.

säule. — Die ungleichen Teilungen am Meßrohr werden durch eine Kompensationsskala auf eine gleichförmige, gleichwertige Teilung übertragen, an welcher gleichförmigen Teilung der die Kohlensäureteilung tragende Schieber gleitet.

Dieser Schieber hat in dem Teilungszwischenraum zwischen 0% und 1% bei 0·6% einen durchgehenden Teilstrich, den korrigierten Nullpunkt, welcher anstatt des bezeichneten Nullpunktes der Schieber-

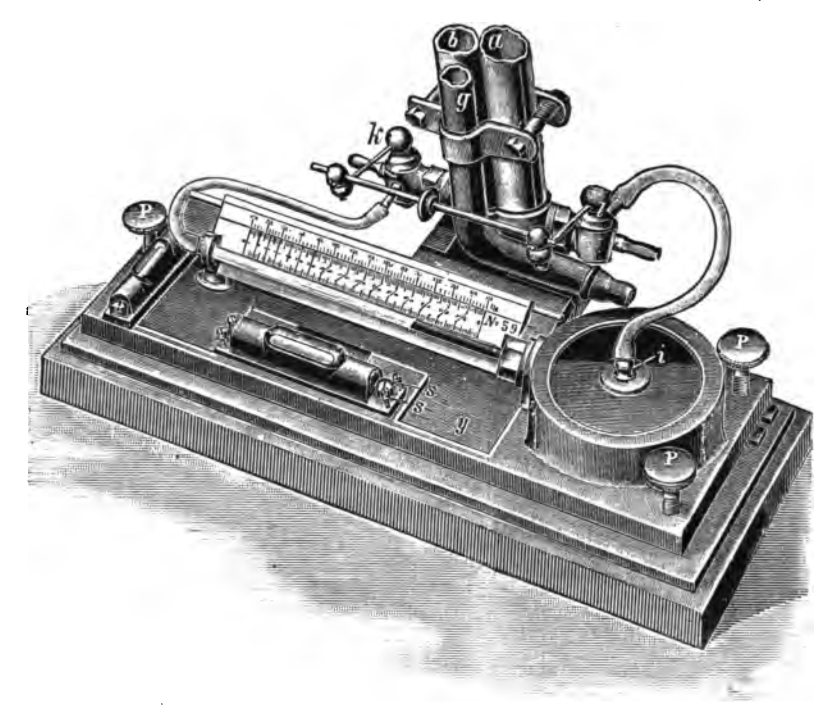


Fig. 36 *c*. Rauchgasanalysator Krell-Schultze.

skala bei den Messungen auf den Luftpunkt des Mikromanometers beziehungsweise auf den Meniscus der Sperrflüssigkeit eingestellt werden muß.

Es wird durch diese Korrektion dem Einfluß des größeren Feuchtigkeitsgehaltes der Verbrennungsprodukte gegenüber der Raumluft Rechnung getragen. Dieser korrigierte Nullstrich ist aus den beigefügten Abbildungen deren Kleinheit wegen nicht ersichtlich.

Die Wirkungsweise des Rauchgasanalysators beruht wie bereits gesagt darauf, daß vermittels des äußerst empfindlichen Mikromanometers der Druckunterschied, welcher von einer Luftsäule H gegenüber einer

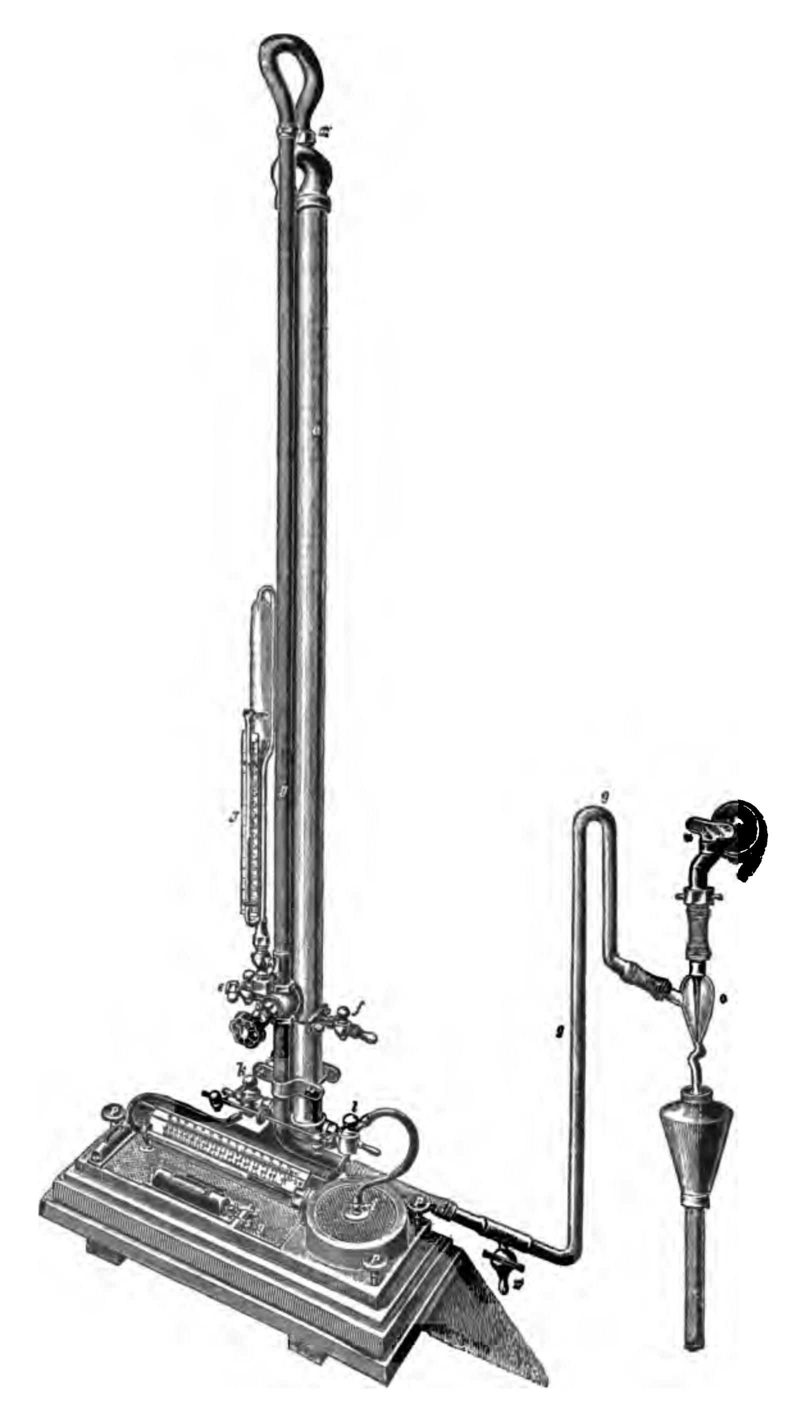


Fig. 36 *d*. Rauchgasanalysator Krell-Schultze.

gleich hohen Säule von Verbrennungsprodukten erzeugt wird, gemessen und kontinuierlich angezeigt wird.

Der Druckunterschied wird durch das ungleiche spezifische Gewicht von Luft und Verbrennungsprodukten erzeugt und ist um so größer, je größer der Kohlensäuregehalt der Verbrennungsprodukte ist.

Würden das Rohr *b* von *k* bis *x* mit ruhender Luft, das Rohr *a* von *l* bis *x* mit ruhenden Verbrennungsprodukten, beide von gleicher Temperatur und Spannung, angefüllt sein, so würde das mit entsprechender Skala ausgerüstete Mikromanometer *y* direkt den Kohlensäuregehalt anzeigen.

Um aber den wechselnden Kohlensäuregehalt der Verbrennungsprodukte im Betriebe fortlaufend zur Anschauung zu bringen, ist es erforderlich, durch das Instrument einen kontinuierlichen Strom von Verbrennungsprodukten zu führen. Die hierbei entstehenden Bewegungswiderstände werden dadurch ausgeglichen, daß man gleichzeitig durch das Rohr *b*, welches die gleichen Abmessungen hat wie *a*, Luft strömen läßt.

Unter diesen Umständen heben sich die Einwirkungen der Bewegungswiderstände auf das Mikromanometer gegenseitig auf, so daß die Messung genau so erfolgen kann, als wenn die beiden Gase in den Standröhren *a* und *b* sich im Ruhestand befinden würden.

Während die Untersuchung der Rauchgase nach den Methoden der chemischen Analyse immer nur den Kohlensäuregehalt derselben zu einer bestimmten Zeit angibt und eine gewisse Geschicklichkeit und Übung voraussetzt, sind in letzter Zeit Apparate konstruiert worden, welche auch unter minder günstigeren Verhältnissen die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Rauchgase auf chemischem Wege, ja sogar deren kontinuierliche Anzeige und selbsttätige Registrierung ermöglichen. Der eine dieser Apparate, „Ados“ genannt, ermittelt in einem bestimmten Heizgasvolumen durch Absorption mit Kalilauge in üblicher Weise die enthaltene Kohlensäure. Die hierbei entstehenden Volumverminderungen sind selbst bei geringem Kohlensäuregehalte noch groß genug, um mit verhältnismäßig einfachen Mitteln kenntlich gemacht zu werden.

Dieser Apparat, Heizeffektmesser oder „Ados“ [1]) (s. Eberles Bericht über denselben, Zeitschrift des bayrischen Dampfkessel-Revisionsvereines, 1901, S. 82, sowie Österreichischer Dampfkessel-Versicherungsverein, Zeitschrift, 1902, S. 120) genannt, besteht aus drei Hauptteilen: dem Kraftwerk, den Gaspumpen und Absorptions- und Registrierapparat und ist durch Fig. 37 schematisch zur Darstellung gebracht und soll an der Hand derselben beschrieben werden.

Das Kraftwerk. Der Raum unter der Gasglocke *a* steht unter der

[1]) Bereits mehrfach verbreitet. Ich sah denselben in der Maschinenhalle auf der Düsseldorfer Industrie- und Gewerbeausstellung 1902 exakt funktionieren. Zu beziehen durch: Feuerungstechnische Gesellschaft in Aachen.



Rohrleitung *b* mit dem Fuchs der Kesselanlage in Verbindung. Ist der kleine Zylinder *c* durch die Klappe *d* verschlossen, so entsteht demnach unter der Glocke *a* ein dem Unterdruck im Fuchs entsprechendes Vakuum und die Glocke sinkt, gleichzeitig das Gegengewicht *f* und das Gefäß *g* hochhebend und die beiden Gasglocken *ii* bewegend. Die von der Gasglocke *a* in Drehung gesetzte Scheibe besitzt zwei Anschlagstifte, welche

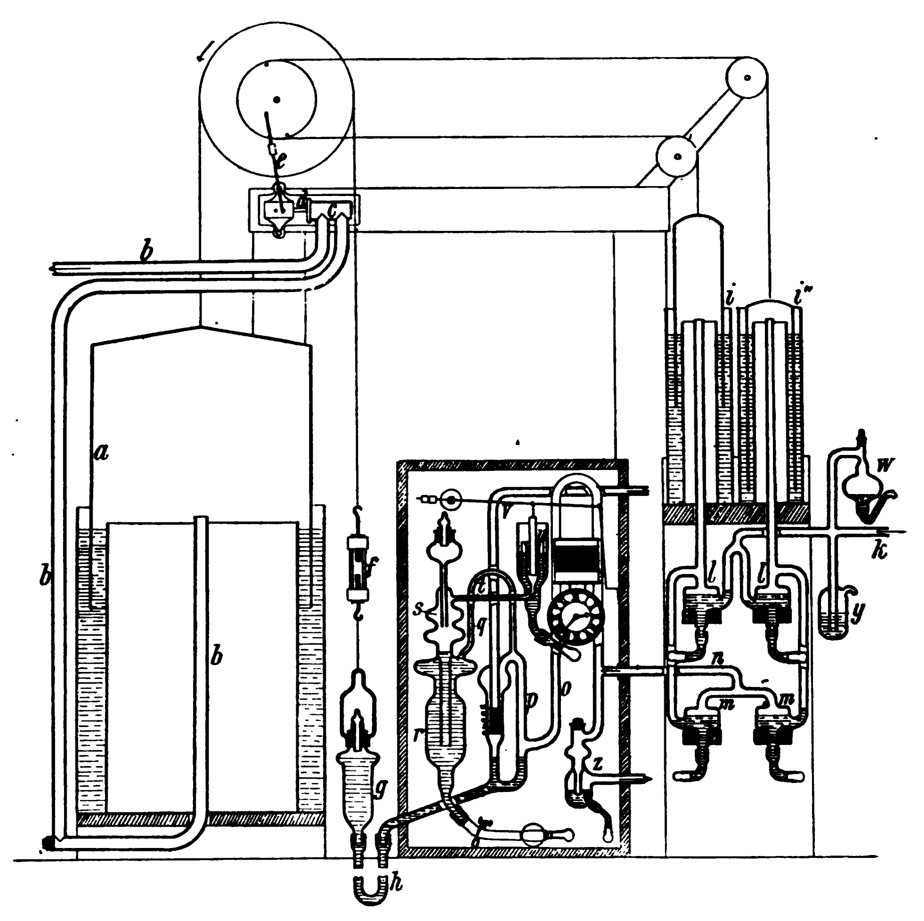


Fig. 37. Heizeffektmesser „Ados".

den Hebel *e* und damit die Verschlußklappe *d* bewegen. Wird letztere geöffnet, so entsteht in der Leitung *b* und damit unter der Glocke *a* Atmosphärendruck, wobei dieselbe ihre Bewegung umkehrt. Solange im Fuchse ein Unterdruck herrscht, werden die Glocke *a* und alle damit zusammenhängenden Teile eine auf- und abgehende Bewegung ausführen, deren Geschwindigkeit von der Größe des Unterdruckes abhängt,

also durch entsprechende Drosselung desselben in bestimmten Grenzen geregelt werden kann.

Die Gaspumpen. Die Räume unter den beiden Gasglocken *ii* stehen durch Leitung *k*, in welche ein (nicht gezeichnetes) Filter eingeschaltet ist, mit der Absaugstelle (letzter Zug, Fuchs, Raum hinter der Feuerbrücke) in Verbindung. Zwischen *k* und *i* sind die Saugventile *ll* eingeschaltet, deren Wirkungsweise, wie aus der Figur ohne weiteres ersichtlich ist, auf der Querschnittsverschiedenheit beider Schenkel der U-förmigen Röhre beruht. Die von den Glocken *ii* durch die Ventile *ll* angesaugten Gase werden durch die den Saugventilen ganz ähnlich konstruierten Druckventile *mm* in die Leitung und damit in den Absorptionsapparat gedrückt. Als zu den Gaspumpen gehörig sind noch die mit *w* und *y* bezeichneten Teile zu besprechen. Syphon *w* hat den Zweck, das in der Saugleitung mögliche Vakuum zu begrenzen, um bei verstopfter Saugleitung *k* die saugenden Glocken *ii* zu verhindern, ihre Sperrflüssigkeit (Glyzerin) so hoch zu saugen, daß dieselbe durch das innere Rohr überläuft und in die Ventile *ll* beziehungsweise *mm* gelangt. *y* ist Wassersack, in welchem sich etwaiges, in der Leitung gebildetes Kondensationswasser abscheiden soll.

Der Absorptions- und Registrierapparat. Durch Leitung *n* und das U-Rohr *o* gelangen die abgesaugten Heizgase in die Meßbürette *p*, aus welcher sie bei dem gezeichneten Stande der Sperrflüssigkeit durch das am unteren Ende mit einer Teilung (0—20) versehene vertikale Rohr ins Freie entweichen können. Wie bereits erörtert, wird das Gefäß *g* durch das Kraftwerk auf- und abbewegt und damit — da dieses durch Gummischlauch *h* mit der Meßbürette in Verbindung steht — auch die Flüssigkeit in den beiden Schenkeln von *p*. Ist dieselbe bis zum Nullstriche des unten geteilten Rohres gestiegen, so kann von dem in *p* eingeschlossenen Gasvolumen nichts mehr ausströmen: *p* ist so bemessen, daß in diesem Augenblicke 100 cm^3 Heizgas abgesperrt sind.

Bei der weitergehenden Aufwärtsbewegung vom Gefäß *g* wird nun das Gas durch das enge Röhrchen *q* in das mit Kalilauge gefüllte Absorptionsgefäß gedrückt. Die Kalilauge wird nach unten getrieben und bietet infolge der gezeichneten Gefäßform dem eintretenden Gase eine große Berührungsfläche, während durch das in diesem Gefäße angeordnete zentrale Rohr die verdrängte Kalilauge in die Höhe steigt, die darüber befindliche Luft zunächst ins Freie austreibend. Ist jedoch die Kalilauge bis zur Mündung des Rohres *s* gestiegen, so ist auch dieser Luftraum abgesperrt. Das abgeschlossene Luftvolumen wird beim weiteren Heben von *g* komprimiert beziehungsweise durch Leitung *t*

unter die Glocke *u* getrieben, wodurch der Hebel *v* gehoben wird, welcher den auf einer durch ein Uhrwerk in Drehung versetzten Trommel gleitenden Schreibstift trägt.

Die grundsätzliche Richtigkeit der ganzen Einrichtung ist leicht zu erkennen. Je größer der Kohlensäuregehalt des Heizgases ist, desto mehr wird von seinem Volumen durch die Kalilauge absorbiert und desto geringer ist das Luftvolumen, welches unter die Glocke getrieben wird, desto weniger wird also der Schreibstift gehoben.

Nachdem die Sperrflüssigkeit bis zur obersten Marke der Meßbürette gestiegen ist und das ganze Gasvolumen in das Absorptionsgefäß verdrängt hat, kehrt dieselbe, durch das Kraftwerk veranlaßt, ihre Bewegung um und sinkt wieder nach unten.

Da nun aber ein Teil des Gasvolumens absorbiert ist, wird die Flüssigkeit in der Meßbürette langsamer sinken als in dem mit der Außenluft in Verbindung stehenden, mit Teilung (0—20) versehenen Rohre.

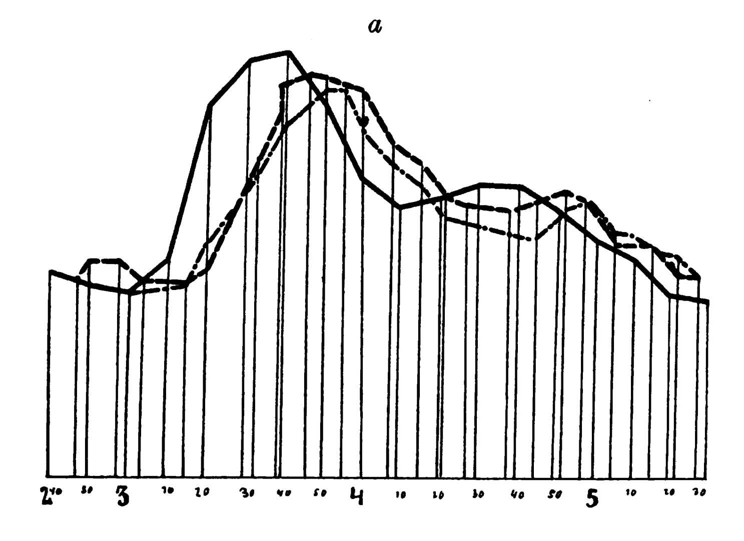
Wenn in diesem die Flüssigkeit bei 0 angelangt ist, wird sie in der Bürette *p* noch bei einem Teilstriche zwischen 0—20 stehen.

Die abgelesene Zahl bedeutet den Kohlensäuregehalt des untersuchten Gases. Bei richtiger Einstellung der verschiedenen Flüssigkeitsspiegel muß diese Ablesung mit der Angabe des Zeigers übereinstimmen. Hierin liegt eine gewisse Selbstkontrolle des Apparates. Von der Absperrung der Meßbürette *p* an bis zur Vollendung der Analyse kann das von den Gaspumpen geförderte Gas nicht durch den Apparat ins Freie entweichen; während dieser Zeit nimmt das Gas durch den Flüssigkeitsverschluß *z* seinen Weg zur Außenluft. Sobald die Sperrflüssigkeit in der Meßbürette wieder unter die Einmündungsstühle des Rohres *v* in den engeren Schenkel von *p* heruntergetreten ist, gelangt das Heizgas wieder durch die Meßbürette, diese ausspülend, ins Freie bis zum Beginn der nächsten Analyse. Zur Prüfung auf Zuverlässigkeit seiner Angaben hat Eberle vor einiger Zeit an einem in einer Münchener Großbrauerei aufgestellten, damals seit etwa sechs Tagen in Betrieb gestandenen Apparate Versuche vorgenommen. Dieselben begannen nach genauer Einstellung durch einen Ingenieur der Brauerei, welcher seit einigen Monaten an einem anderen Apparate dessen Handhabung erlernt hatte. Diese Einstellung wurde auch durch den anwesenden Erfinder kontrolliert. Zur Untersuchung war in die Leitung von der Absaugstelle zum „Ados“, und zwar unmittelbar vor diesem, ein T-Stück eingesetzt worden, an welches man Leitungen zu einem Orsatapparat und zu einem Sammelgefäße anschloß. Das Kraftwerk war so eingestellt, daß der „Ados“ alle 7 bis 8 Minuten eine Analyse machte, während mit dem Orsatapparate von 10 zu 10 Minuten Analysen durchgeführt wurden.

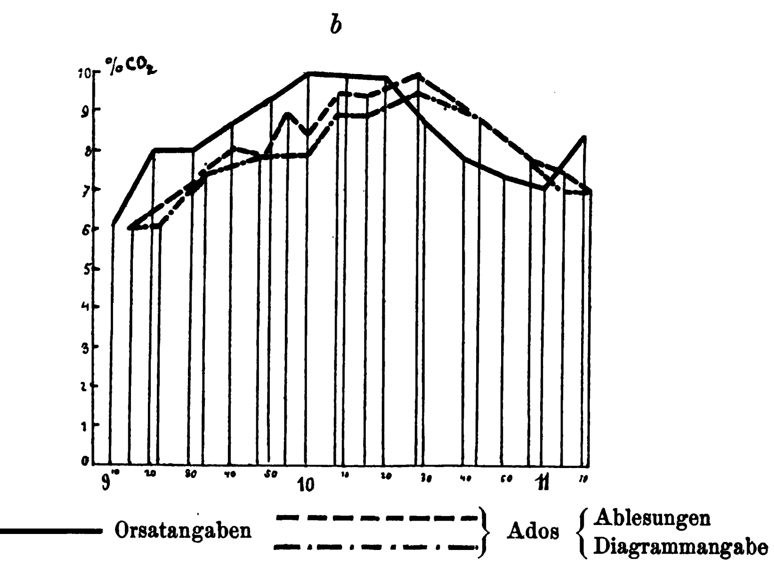
Tabelle I.

Zeit	Orsat $\%\ CO_2$	Ados	
		Ablesungen $\%\ CO_2$	Abmessungen am Diagramme $\%\ CO_2$
9·10 — 11·10	8·5	8·1	7·9
2·40 — 5·30	7·0	7·1	6·8

a



b



Orsatangaben — Ados { Ablesungen / Diagrammangabe }

Fig. 38.

Die Mittelwerte der Ergebnisse zweier Versuchsreihen sind in Tabelle I zusammengestellt, während in Fig. 38 *a*, *b* der größeren Übersichtlichkeit halber die aus den drei Beobachtungen erhaltenen Angaben für den jeweiligen Kohlensäuregehalt zeichnerisch dargestellt wurden.

Die Tabelle zeigt, daß bei beiden Versuchen die Mittelwerte aus den Angaben des „Ados" mit dem Ergebnis der mit Orsatapparat vorgenommenen Kohlensäurebestimmung befriedigend übereinstimmen. Die zeichnerische Darstellung läßt erkennen, daß der „Ados" auch die ziemlich beträchtlichen Schwankungen des Kohlensäuregehaltes zwar mit einer geringen Nacheilung, aber in vollkommen ausgeprägtem Maße anzeigt. Es kann sonach ausgesprochen werden, daß man mit dem „Ados" bei sorgfältiger und genauer Einstellung der Flüssigkeitsspiegel und des Schreibzeuges wohl in der Lage ist, für den vorliegenden Zweck genügend genaue Angaben des jeweiligen Kohlensäuregehaltes der untersuchten Heizgase zu erhalten. Inwieweit natürliche Abnützung und Verschmutzung des Apparates die Zuverlässigkeit seiner Angaben und damit auch seine Brauchbarkeit beeinträchtigen werden, kann nach der kurzen Betriebszeit des untersuchten Apparates nicht beurteilt werden. Da sich der Stand der Kalilauge im Absorptionsgefäße infolge des Wassergehaltes der Heizgase verändert, muß die genaue Einstellung täglich mindestens einmal vorgenommen werden.

Aus dem Gehalte der Rauchgase an Kohlensäure läßt sich nun nicht nur, wie bereits ausgeführt, die Menge der in die Feuerung eingeführten Luft, beziehungsweise das Verhältnis derselben zu der theoretisch zur Verbrennung (der Gewichtseinheit) des Brennstoffes notwendigen, bestimmen, sondern es läßt sich, wenn die Zusammensetzung des verwendeten Brennstoffes, der ja hier nur als Steinkohle in Betracht zu ziehen ist, bekannt ist, auch der Wärmeverlust (durch die in den Rauchgasen enthaltene Wärme) in Prozenten der gesamten entwickelten, dem Heizeffekt der Kohle entsprechenden Wärme berechnen.

A. Siegert, München, berechnet den Verlust an Wärme in den abziehenden Schornsteingasen nach folgender Formel (siehe Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1888, S. 1099):

$$\text{Verlust in Wärmeeinheiten} = \left[\frac{0{\cdot}32\, C}{0{\cdot}536\, CO_2} + 0{\cdot}48\,(9\,H - W)\right].(T - t),$$

worin bedeuten C Kohlenstoffgehalt der verbrannten Kohle in Gewichtsprozenten, CO_2 Kohlensäuregehalt der Rauchgase in Volumenprozenten, H Wasserstoffgehalt der Kohle in Gewichtsprozenten, W deren Wassergehalt, T Temperatur der abziehenden Feuergase (beim Eintritt in den Kamin) und t jene der zum Roste strömenden Verbrennungsluft.

Für Steinkohlen kann man mit genügender Genauigkeit setzen:

$$V = 0{\cdot}65\ \frac{T-t}{CO_2} \text{ in } \% \text{ des Heizwertes.}$$

Die von **Siegert** abgeleitete Formel ist auch von ihm graphisch durch Diagramme zur Feststellung der Wärmeverluste durch die Essengase dargestellt worden; eines derselben ist durch Fig. 39 dargestellt.[1])

Fig. 40 stellt ein genauere Maßnahmen ermöglichendes Diagramm dar, dem Prospekt zu G. A. **Schultzes**, Berlin, Rauchgasanalysator entnommen. Seine Benützung ist aus der ihm unmittelbar angefügten Erläuterung ersichtlich. Man verfolge den dem bestimmten CO_2-Gehalt

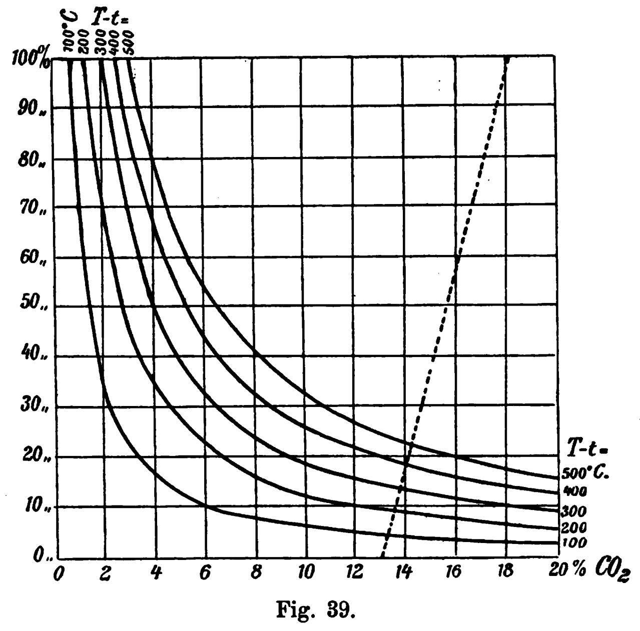


Fig. 39.

Abszisse entspricht dem CO_2-Gehalte der Rauchgase in Volumprozenten, Ordinate dem Wärmeverluste im Kamine in Prozenten des Heizwertes.

entsprechenden vom Nullpunkt ausgehenden Strahl bis zum Schnittpunkte der Senkrechten, welche der auf der Abszissenlinie aufgetragenen Temperaturdifferenz entspricht. Eine Horizontale von diesem Schnittpunkte nach links zur Verlustskala gezogen, gibt den Verlust in Prozenten an. Es sei z. B. die Temperatur der abziehenden Essengase 300°,

[1]) Fig. 39 zeigt als Abszisse den Kohlensäuregehalt der Kamingase in Volumprozenten, als Ordinate den Wärmeverlust im Kamin in Prozenten des Heizwertes, während die Kurven den zugehörigen Temperaturüberschüssen $(T-t)$ von 100 zu 100° abgestuft entsprechen, z. B.: $CO_2 = 4\%$, $T-t = 300°$, ergibt als Wärmeverlust $V = 48\%$.

die des Kesselhauses 20° und der CO_2-Gehalt 5%, somit also $T - t = 280°$. Geht man bei der Horizontallinie unten bei 280° in der entsprechenden Vertikalen aufwärts, bis dieselbe die von 0 zu 5% gehende Strahllinie trifft, so erfolgt dies auf der Verlustprozentenlinie bei 36·4, welche Zahl der gesuchten Verlustgröße entspricht.

Die Kenntnis des Kohlendioxydgehaltes und der Temperatur der Fuchsgase gestattet uns demnach jederzeit sich ein Urteil über den Grad der Ausnutzung des Brennstoffes in einer Feuerung zu bilden. Dieser

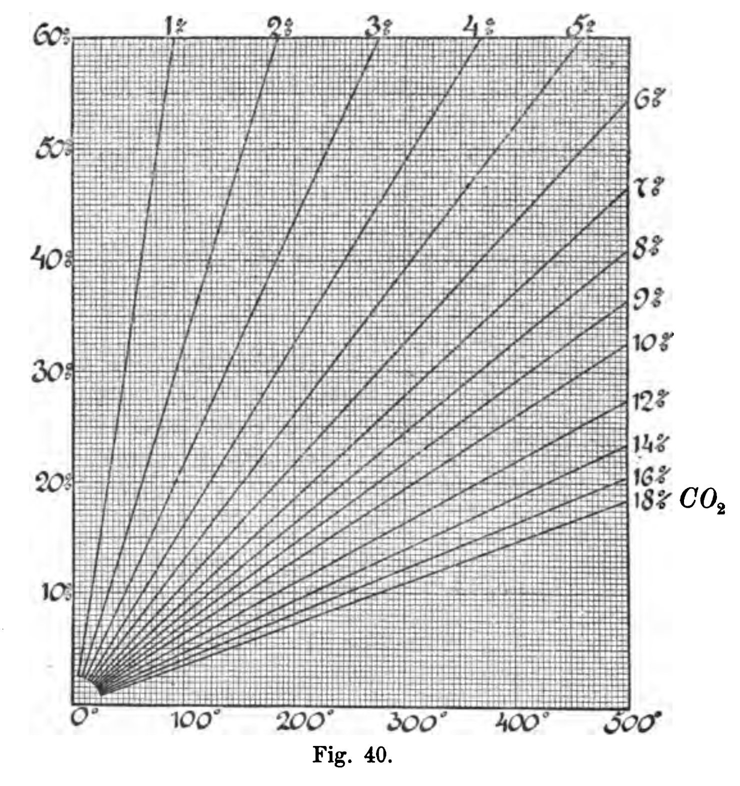


Fig. 40.

ist um so höher, einen je kleineren Bruchteil die Fuchstemperatur von der Verbrennungstemperatur bildet. Erstere schwankt bei gewöhnlichen Feuerungen nicht erheblich, letztere wechselt stark mit dem Luftüberschusse. Die nutzbar gemachte Wärmemenge wird somit um so höher sein, je höher die Verbrennungstemperatur, der pyrometrische Effekt am Roste, und der Kohlendioxydgehalt, je kleiner der Luftüberschuß ist. Die Beziehungen zwischen diesen Größen sind in dem Diagramm Fig. 41 und in der Tabelle II [1]) dargestellt. In ersterem sind auf der Höhenachse links die

[1]) Nach Beckert, Feuerungskunde, S. 134. (I. Band seines Leitfadens der Eisenhüttenkunde, 1898, bei F. Springer, Berlin.)

Verbrennungstemperaturen aufgetragen, welche den Gehalten der Fuchsgase an Kohlendioxyd von Hundertteil zu Hundertteil, von 0—21% entsprechen: rechts sind von 100 zu 100 die Temperaturen verzeichnet, mit denen die Gase in den Schornstein gelangen.[1]) In diesen Höhenabständen ist für die einzelnen Kohlendioxydgehalte von links nach rechts derjenige Anteil der Verbrennungswärme aufgetragen, welcher bei der entsprechenden Fuchstemperatur ausgenützt wird, wogegen der

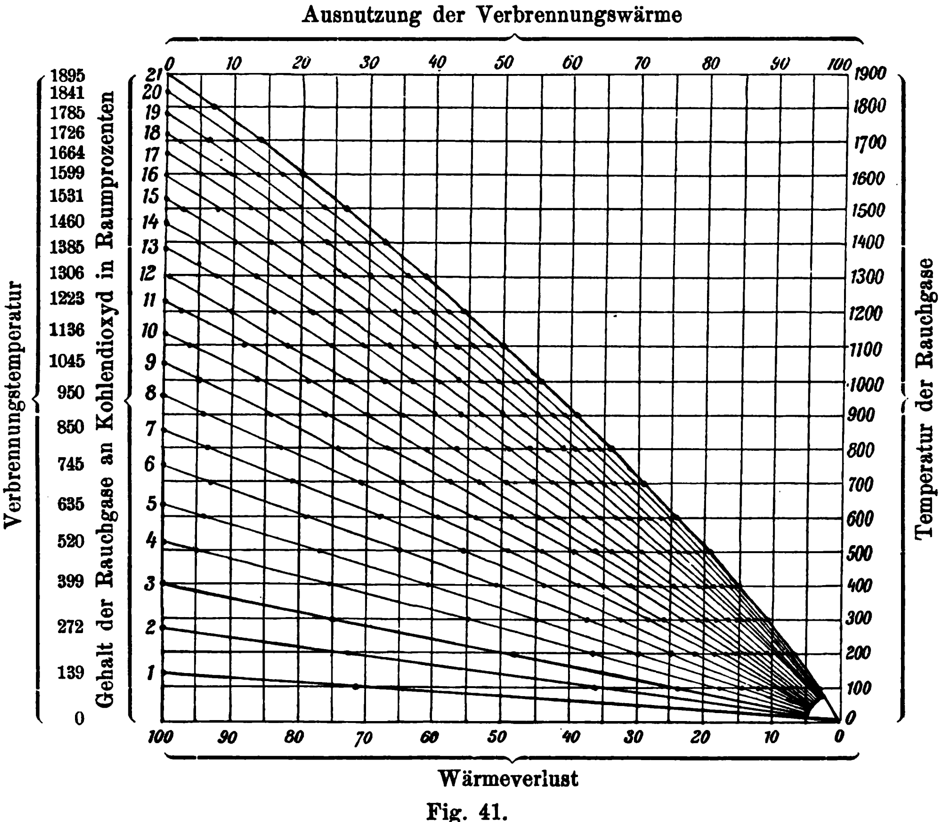


Fig. 41.

Rest des Grundabstandes, von rechts nach links gemessen, den Wärmeverlust darstellt.

Die Summe beider muß in jedem Falle selbstverständlich 100 ergeben. So sind Schaulinien entstanden, welche ohne weiteres erkennen lassen, wieviel im gegebenen Falle vom Brennstoffe nutzbar gemacht, wie viel verloren ist. Die Schaulinien wären gerade, wenn die spezifischen Wärmen der Gase nicht mit der Temperatur zunähmen. Beispiel: In den

[1]) Zur Messung der Rauchgastemperaturen eignen sich zweckmäßig Quecksilberpyrometer mit Kohlensäurefüllung (bis zu 550° C. gehend).

Tabelle II. **Tabelle für die Wärmeverluste**

CO_2-Gehalt Raum-%	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Verbrennungs-Temperatur	139	272	399	520	635	745	850	950	1045
Luftüberschuß %	2000	950	600	425	320	250	200	165	133·33
Temperatur der Fuchsgase						Wärmeverluste in Hundert-			
100	**72·0**	**36·0**	**24·0**	**18·0**	**14·5**	**12·1**	**10·4**	**9·1**	**8·2**
D 10^0	7·0	3·7	2·4	1·9	1·5	1·3	1·1	1·0	0·8
200	.	**72·9**	**48·3**	**36·7**	**29·5**	**24·6**	**21·2**	**18·6**	**16·6**
D 10^0	.	3·9	2·6	1·9	1·5	1·3	1·1	1·0	0·9
300	.	.	**74·2**	**55·3**	**44·9**	**37·6**	**32·4**	**28·4**	**25·3**
D 10^0	.	.	2·6	2·0	1·6	1·3	1·2	1·0	0·9
400	.	.	**100·0**	**75·6**	**60·8**	**50·9**	**43·9**	**38·5**	**34·3**
D 10^0	.	.	.	2·0	1·6	1·4	1·2	1·1	1·0
500	.	.	.	**95·8**	**77·1**	**64·6**	**55·7**	**48·9**	**43·8**
D 10^0	.	.	.	2·1	1·7	1·4	1·2	1·1	1·0
600	.	.	.	.	**93·9**	**78·7**	**68·2**	**59·7**	**53·4**
D 10^0	.	.	.	.	1·7	1·5	1·3	1·1	1·0
700	.	.	.	.	.	**93·2**	**81·2**	**70·8**	**63·3**
D 10^0	.	.	.	.	.	1·5	1·3	1·1	1·0
800	.	.	.	.	.	.	**94·2**	**82·2**	**73·6**
D 10^0	.	.	.	.	.	.	1·2	1·2	1·1
900	.	.	.	.	.	.	.	**93·9**	**84·1**
D 10^0	.	.	.	.	.	.	.	1·2	1·1
1000	.	.	.	.	.	.	.	.	**94·9**
D 10^0	.	.	.	.	.	.	.	.	1·1
1100	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D 10^0	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1200	.	.	.	.	.	.	.	.	.

durch die Essengase.

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1136	1223	1306	1385	1460	1531	1599	1664	1726	1785	1841	1895
110	91	75	62·5	50	40	31·25	23·53	16·67	10·5	5	0
teilen der Verbrennungswärme											
7·4	**6·7**	**6·2**	**5·7**	**5·3**	**4·9**	**4·7**	**4·4**	**4·2**	**4·0**	**3·8**	**3·6**
0·8	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·4	0·4	0·4	0·4
15·0	**13·7**	**12·6**	**11·7**	**10·9**	**10·2**	**9·6**	**9·1**	**8·6**	**8·2**	**7·8**	**7·4**
0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·5	0·4	0·4	0·4
22·9	**20·9**	**19·3**	**17·7**	**16·6**	**15·6**	**14·7**	**13·9**	**13·2**	**12·6**	**12·0**	**11·4**
0·8	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·5	0·4	0·4
31·1	**28·4**	**26·2**	**24·3**	**22·7**	**21·3**	**20·0**	**18·9**	**18·0**	**17·1**	**16·3**	**15·6**
0·9	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·5	0 4
39·0	**36·2**	**33·4**	**31·0**	**28·9**	**27·1**	**25·5**	**24·2**	**22·9**	**21·9**	**20·9**	**20·0**
0·9	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5
48·2	**44·2**	**40·8**	**37·9**	**35·3**	**33·2**	**31·3**	**29·6**	**28·1**	**26·8**	**25·6**	**24·5**
0·9	0 8	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5	0·5
57·4	**52·5**	**48·4**	**45·0**	**42·0**	**39·5**	**37·2**	**35·2**	**33·5**	**31·9**	**30·5**	**29·2**
0·9	0·9	0·8	0·7	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5	0·5
66·7	**61·0**	**56·3**	**52·3**	**48·9**	**46·0**	**43·4**	**41·1**	**39·1**	**37·3**	**35·6**	**34·1**
0 9	0·9	0·8	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·6	0·5	0 5
76·2	**69·8**	**64·4**	**59·9**	**56·0**	**52·7**	**49·7**	**47·1**	**44·8**	**42·8**	**41·0**	**39·2**
1·0	0·9	0·8	0·8	0·7	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·6	0·5
86·1	**78·8**	**72·8**	**67·8**	**63·4**	**59·6**	**56·3**	**53·4**	**50·8**	**48·5**	**46·6**	**44·5**
1·0	0·9	0·9	0·8	0·8	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·5	0·5
96·2	**88·2**	**81·3**	**75·8**	**71·0**	**66·8**	**63·1**	**59.8**	**57·1**	**54·4**	**52·0**	**49·9**
1·0	1·0	0·9	0·8	0·8	0·7	0·7	0·7	0·6	0·6	0·6	0·6
.	**97·7**	**90·3**	**84·1**	**78·8**	**74·1**	**70·1**	**66·5**	**63·3**	**60·5**	**57·9**	**55·6**

Rauchgasen seien 10% Kohlendioxyd nachgewiesen und das Thermometer im Fuchskanale zeige 300°. Verfolgen wir jetzt die Kohlendioxydlinie 10% von links nach rechts abwärts bis zum Schnittpunkte mit dem Höhenabstande 300° und messen dessen Grundabstand von der rechts gelegenen Nullinie, so ergibt sich 23 Hundertteile Wärmeverlust.

In Tabelle II finden wir in der mit 10% bezeichneten senkrechten Reihe auf der wagerechten Zeile 300° den Wärmeverlust mit 22·9% verzeichnet. Für den praktischen Gebrauch ist die Tabelle vorzuziehen, zumal in ihr zwischen den einzelnen Temperaturzeilen noch die Unterschiede für je 10° angegeben sind. — Diese Werte gelten, streng genommen, nur für die Verbrennung von Kohlenstoff, nicht aber von wasser- und wasserstoffhaltigen Kohlen, können aber trotzdem als Anhalt dienen, da die Abweichungen für je 100° Fuchstemperatur nur bei ganz niedrigen Kohlendioxydgehalten und Kohlen mit viel disponiblem Wasserstoff 1% erreichen.

Aus meiner eigenen Erfahrung ist mir bekannt, daß man in vielen Etablissements, wo man regelmäßig periodisch den Gehalt der Rauchgase an CO_2 durch Analyse, Dasymeter oder Ökonometer bestimmt, bei einem Gehalte von über 9% CO_2, entsprechend dem 2·1fachen des theoretisch notwendigen Luftquantums, dem verantwortlichen Heizer Prämien in steigendem Verhältnis aussetzt, ein Vorgang, der nur zur Nachahmung zu empfehlen ist, als ja in vielen Fällen noch ungünstigere Verhältnisse zu konstatieren sind.

Die Bestimmung des CO_2-Gehaltes in den Rauchgasen bietet noch einen Vorteil anderer Art, als den bisher besprochenen; sie liefert uns nämlich ein Mittel zur Vergleichung der höchsten Temperaturen im Feuer selbst, indem man bekanntlich aus dem Heizwerte, beziehungsweise der Zusammensetzung des Brennstoffes und der Menge der Verbrennungsprodukte einen Schluss auf die Höhe der Anfangstemperatur, den sogenannten pyrometrischen Effekt eines Feuers ziehen kann Dieser Fall ist allerdings nur von besonderem Interesse für jene Industrien, welche auf die Benützung hoher Temperaturen angewiesen sind, wie die keramische Industrie, die Gaswerke, Hüttenwerke, Glasfabriken und dergleichen.

Aber auch für eine Dampfkesselfeuerung ist die annähernde Kenntnis des pyrometrischen Effektes am Roste von Wert, indem ja, wie schon v. Reiche darauf hinwies, je heißer die entstehenden Verbrennungsprodukte sind, desto rascher die Wärmetransmission derselben an Kessel und Inhalt erfolgt, wodurch die entwickelte Dampfmenge steigt.

Zum Schluße möchte ich noch darauf hinweisen, daß selbst bei Verwendung von zweckmäßigen Zugmessern, Zugreglern und entsprechend

geübter Kontrolle des Feuerungsbetriebes eine rationelle und möglichst ökonomische Gestaltung desselben nur erzielbar ist, wenn der Heizbetrieb durch einen nicht bloß hinreichend geschulten, sondern auch beobachtenden und richtig kombinierenden Heizer erfolgt. Auch die selbsttätigen Zugregulierer sind selbstverständlich mit dem Mangel behaftet, daß sie der unvermeidlichen wechselnden Inanspruchnahme des Kessels, der damit zusammenhängenden, in der Zeiteinheit zu verfeuernden Brennstoffmengen und allen sonstigen veränderlichen Momenten nicht automatisch folgen können und deshalb kann ein jeder rationelle Feuerungsbetrieb des geschickten Heizers nicht entbehren. In dieser Beziehung liegt es aber bei uns in Österreich noch sehr im argen; auch im deutschen Reiche werden in dieser Richtung häufig auch noch Klagen laut und in den diesbezüglichen Fachschriften wird fast jedes Jahr der Wunsch nach einer besseren Ausbildung der Heizer ausgesprochen und es werden verschiedene Vorschläge in dieser Richtung gemacht. Bei uns in Österreich ist bekanntlich der Prüfungszwang eingeführt und jede Dampfkesselheizung kann nur von einem durch staatliche Organe geprüften Heizer bedient werden. Diese Heizer sind aber de facto meistens nur Kesselwärter, die die Wartung des Kessels und die Handhabung der geltenden Sicherheitsvorschriften kennen, sonst aber von dem eigentlichen Verbrennungsprozeß, von den Eigenschaften, dem Verhalten der Brennstoffe etc. gewöhnlich nicht die richtige Vorstellung besitzen. Es wäre noch erklärlich, daß kleinere Betriebe mit kleineren Kesselanlagen der geringeren Bezahlung halber solche Heizer anstellen, aber unbegreiflich erscheint es, wie industrielle Etablissements, deren jährliches Kohlenkonto allein 160.000—200.000 Kronen beträgt, sich mit derartig qualifizierten und dementsprechend niedrig gezahlten Kräften begnügen, während es doch anerkannt ist, daß in dieser Richtung allein durch geschickten Heizbetrieb im gegebenen Falle 10—20.000 Kronen jährlich erspart werden können.

Vor 20 Jahren ungefähr war es auch mit der Art der Dampfkessel- und Feuerungskonstruktionen in Österreich ziemlich schlecht bestellt, wie das aus der nahezu drastischen Darstellung dieser Verhältnisse durch Schwackhöfer (Technologie der Wärme, des Wassers und der Kohlehydrate, Wien, 1883, S. 91) ersichtlich ist. Diesbezüglich haben sich die Verhältnisse bedeutend günstiger gestaltet, was zum großen Teil der Tätigkeit der Ingenieure der Dampfkessel-Untersuchungs- und Versicherungsgesellschaft in Wien zu danken ist, welche neben ihrer amtlichen Tätigkeit noch in konsultativer Weise bei der Anlage neuer Betriebe und bei der Rekonstruktion älterer Anlagen in sehr ersprießlicher und nicht genug anzuerkennenden Weise wirkten.

Es ist auch bereits mehrfach die Idee ventiliert worden, aus dem Heizerpersonale eine Anzahl besonders persönlich Befähigter auszuwählen und dieselben in Heizerschulen, in welchen auch der Kenntnis der Brennstoffe, des Verbrennungsprozesses entsprechende Berücksichtigung gewidmet wird, noch weiter auszubilden behufs ihrer Verwendung in solchen Industrien, in welchen die Dampferzeugung eine spezifisch hervorragende Rolle spielt. Möge das Vorliegende diese Idee der Verwirklichung etwas näher bringen!

